

PHSによる  
高品質マルチメディア通信の研究

1999年3月

加藤正美

PHSによる  
高品質マルチメディア通信の研究

*A Study of High Quality Multimedia Communications by PHS*

加 藤 正 美

# 目次

第 1 章 序論 .....	1
1.1 モバイルマルチメディア通信 .....	1
1.2 PHS によるモバイルマルチメディア通信 .....	3
1.2.1 システム構成 .....	4
1.2.2 無線通信方式 .....	5
1.2.3 PIAFS .....	6
1.2.4 PHS によるマルチメディアアプリケーション .....	7
1.3 低ビットレート対応動画像圧縮符号化方式 .....	8
1.4 メディア同期 .....	9
1.4.1 研究の動向 .....	9
1.4.2 VTR アルゴリズム .....	11
1.4.3 PHS によるモバイルマルチメディア通信時のメディア同期の問題 .....	11
1.5 本論文の内容 .....	12
第 2 章 PHS におけるビデオ伝送方式の性能評価 .....	15
2.1 まえがき .....	15
2.2 ビデオ伝送方式の提案 .....	16
2.2.1 TDMA/TDD 方式と H.261 の FEC フレーム .....	16
2.2.2 FEC/SR-ARQ ハイブリッド方式 .....	17
2.2.3 ビデオフレーム廃棄による解像度制御 .....	19
2.3 シミュレーションの仮定 .....	20
2.3.1 ランダム誤り環境における仮定 .....	20
2.3.2 バースト誤り環境における仮定 .....	21
2.3.3 評価システム .....	22
2.3.4 ビデオソースの特性 .....	22
2.4 数値結果 .....	24
2.4.1 ランダム誤り環境 .....	24
2.4.1.1 スループット .....	24
2.4.1.2 ビデオのメディア内同期 .....	26
2.4.2 バースト誤り環境 .....	31
2.4.2.1 スループット .....	31
2.4.2.2 ビデオのメディア内同期 .....	33

2.5 むすび .....	37
第 3 章 PHS による蓄積メディア伝送時のメディア同期性能評価 .....	39
3.1 まえがき .....	39
3.2 メディア同期制御方式 .....	41
3.2.1 メディア内同期 .....	41
3.2.1.1 ビデオのメディア内同期 .....	42
(1) B ブロック廃棄制御 .....	42
(2) 出力開始遅延制御 .....	43
3.2.1.2 音声のメディア内同期 .....	43
3.2.2 ビデオと音声のメディア間同期 .....	43
3.2.2.1 メディア間同期 .....	43
3.2.2.2 スライド制御 .....	44
3.3 シミュレーションの仮定 .....	45
3.3.1 伝送制御方式の仮定 .....	45
3.3.2 通信環境の仮定 .....	45
3.3.3 蓄積メディアの仮定 .....	46
3.3.4 メディア同期制御の仮定 .....	47
3.3.5 評価システム .....	48
3.4 数値結果 .....	49
3.4.1 ランダム誤り環境 .....	49
(1) B ブロック廃棄制御 .....	49
(2) スライド制御 .....	52
(3) 出力開始遅延制御 .....	54
3.4.2 バースト誤り環境 .....	57
3.5 むすび .....	60
第 4 章 受信バッファの情報量を利用した PHS 蓄積メディア同期制御 .....	61
4.1 まえがき .....	61
4.2 メディア同期アルゴリズムの改良 .....	62
4.3 シミュレーションの仮定 .....	63
4.3.1 通信環境の仮定 .....	63
4.3.2 蓄積メディアの仮定 .....	64
4.3.3 評価システム .....	64
4.3.4 評価尺度 .....	65
4.4 数値結果 .....	66
4.4.1 条件 $Q^{(1)}$ によるスライド制御の性能 .....	66
(1) メディア間同期ずれ時間 .....	66
(2) メディア内同期ずれ時間 .....	69

(3) 出力間隔の変動係数 $C_v^{(i)}$ .....	72
4.4.2 ポーズ時間とその影響 .....	75
4.4.3 しきい値 $T_{hQ}$ の影響 .....	76
4.5 むすび .....	79
<b>第 5 章 PHS によるライブメディア伝送時のメディア同期性能評価 .....</b>	<b>81</b>
5.1 まえがき .....	81
5.2 メディア同期制御方式 .....	83
5.2.1 スライド制御の拡張 .....	83
5.2.2 空間的・時間的解像度制御 .....	85
5.3 シミュレーションの仮定 .....	86
5.3.1 伝送制御方式の仮定 .....	86
5.3.2 通信環境の仮定 .....	86
5.3.3 ライブメディアの仮定 .....	86
5.3.4 メディア同期制御の仮定 .....	87
5.3.5 評価システム .....	88
5.4 数値結果 .....	89
5.4.1 ランダム誤り環境 .....	89
(1) メディア同期性能の評価 .....	89
(2) 平均 MU 遅延時間 .....	93
(3) 主観評価 .....	94
(4) 空間的解像度制御の画質への影響 .....	95
(5) 後方へのスライド許容時間 の影響 .....	96
5.4.2 バースト誤り環境 .....	98
(1) メディア同期と MU 遅延時間 .....	98
(2) スライド制御の時間的経過 .....	102
5.5 むすび .....	103
<b>第 6 章 H.223 Annex 多重化プロトコル適用時の PHS ライブメディア同期性能評価 .....</b>	<b>105</b>
6.1 まえがき .....	105
6.2 メディア同期メカニズム .....	106
6.2.1 H.223 Annex 多重化プロトコル .....	106
6.2.2 スライド制御 .....	107
6.2.3 QOS 制御 .....	109
6.3 シミュレーションの仮定 .....	109
6.3.1 伝送制御方式と通信環境の仮定 .....	109
6.3.2 ライブメディアの仮定 .....	110
6.3.3 評価システム .....	111

6.4	数値結果 .....	112
6.4.1	インタリーブ多重化伝送におけるスライド制御の性能 .....	112
	(1) メディア間同期性能 .....	113
	(2) 平均 MU 遅延時間 .....	115
	(3) メディア内同期性能 .....	116
6.4.2	MUX-PDU サイズと AL-PDU サイズの影響 .....	118
	(1) MUX-PDU サイズの影響 .....	118
	(2) ビデオの AL-PDU サイズの影響 .....	120
6.4.3	QOS 制御の有効性 .....	121
6.5	むすび .....	124
第 7 章	PHS 回線における蓄積メディア同期実験 .....	125
7.1	まえがき .....	125
7.2	メディア同期制御方式 .....	126
7.2.1	PHS によるインターネットアクセス .....	126
7.2.2	スライド制御の拡張 .....	128
7.3	実験システム .....	129
7.3.1	実験システムの構成 .....	129
7.3.2	メディアの仮定 .....	131
7.3.3	メディア同期制御のパラメータ .....	131
7.4	数値結果 .....	132
7.4.1	スライド制御の有効性 .....	132
	(1) メディア間同期性能 .....	132
	(2) メディア内同期性能 .....	133
	(3) 総出力時間の増加 .....	134
	(4) 平均 MU 出力レート .....	136
7.4.2	UDP データグラム の 欠 落 .....	137
	(1) MU の欠落率 .....	137
	(2) MU の欠落原因 .....	139
	(3) 画質や音質への影響 .....	140
7.5	むすび .....	141
第 8 章	PHS インターネットアクセス時の蓄積メディア同期性能評価実験 .....	143
8.1	まえがき .....	143
8.2	実験環境 .....	143
8.2.1	実験システム構成 .....	144
8.2.2	メディアの仮定 .....	145
8.2.3	スライド制御方式のパラメータ .....	145

8.3 数値結果 .....	146
8.3.1 データ負荷と無線通信環境の影響 .....	146
(1) MU の欠落 .....	146
(2) メディア間同期性能 .....	148
(3) メディア内同期性能 .....	149
(4) 総出力時間の増加 .....	151
8.3.2 TCP による欠落保証時の同期性能 .....	153
(1) メディア間同期性能 .....	153
(2) メディア内同期性能 .....	154
(3) 総出力時間 .....	154
8.4 むすび .....	157
第 9 章 結論 .....	159
謝辞 .....	163
付録 .....	164
付 .1 変数一覧 .....	164
付 .2 スライド制御の制御パターン .....	166
参考文献 .....	167





# 図表目次

図1.1	PHSのシステム構成.....	4
図1.2	TDMA/TDDフレームの構成 .....	5
図1.3	PIAFSにおけるARQフレームの構成.....	6
図1.4	ビデオMUと音声MUの時間関係 .....	9
図1.5	メディア同期モデル .....	10
図2.1	PHSの物理スロットとH.261のFECフレームの構成.....	17
図2.2	送信機構成図 .....	19
図2.3	ビデオフレーム廃棄による解像度制御 .....	20
図2.4	バースト誤り環境における状態遷移確率 .....	21
図2.5	評価システムの構成 .....	22
図2.6	ビデオフレーム長の分布 .....	23
図2.7	スループット（ランダム誤り環境） .....	25
図2.8	FECによるエラー訂正率（ランダム誤り環境） .....	25
図2.9	平均受信ビデオフレームレート（ランダム誤り環境） .....	26
図2.10	ビデオフレームの平均伝送遅延時間（ランダム誤り環境） .....	27
図2.11	メディア内同期ずれ時間の経過(例) .....	28
図2.12	メディア内同期ずれの平均およびRMS（ランダム誤り環境） .....	28
図2.13	メディア内同期ずれ時間の累積分布（ランダム誤り環境） .....	30
図2.14	FECによるエラー訂正率（バースト誤り環境） .....	31
図2.15	スループット（バースト誤り環境） .....	32
図2.16	平均受信ビデオフレームレート（バースト誤り環境） .....	33
図2.17	ビデオフレームの平均伝送遅延時間（バースト誤り環境） .....	34
図2.18	メディア内同期ずれの平均およびRMS（バースト誤り環境） .....	35
図2.19	メディア内同期ずれ時間の累積分布（バースト誤り環境） .....	36
図3.1	PHS蓄積メディア伝送システム構成図.....	40
図3.2	メディア内同期ずれ .....	42
図3.3	ビデオフレーム長の分布 .....	47
図3.4	評価システムの構成 .....	48
図3.5	スループット（ランダム誤り環境） .....	49
図3.6	ビデオ情報廃棄率 .....	50
図3.7	ビデオの平均MU出力レート（ランダム誤り環境） .....	51

図3.8	ビデオの平均メディア内同期ずれ時間 (ランダム誤り環境) .....	51
図3.9	総スライド時間と再生増加時間 .....	52
図3.10	音声の平均メディア内同期ずれ時間 (ランダム誤り環境) .....	53
図3.11	平均メディア間同期ずれ時間 (ランダム誤り環境) .....	54
図3.12	出力開始遅延時間 $S_0$ + 総スライド時間 $S_n$ の経過 .....	55
図3.13	Pフレーム連続発生回数の累積分布 .....	56
図3.14	スループット (バースト誤り環境) .....	57
図3.15	ビデオの平均メディア内同期ずれ時間 (バースト誤り環境) .....	58
図3.16	ビデオの平均MU出力レート (バースト誤り環境) .....	58
図3.17	音声の平均メディア内同期ずれ時間 (バースト誤り環境) .....	59
図3.18	平均メディア間同期ずれ時間 (バースト誤り環境) .....	59
図4.1	蓄積メディア伝送システム構成図 .....	61
図4.2	評価システムの構成 .....	65
図4.3	スループットとBERの関係 (ランダム誤り環境) .....	67
図4.4	スループットと受信レベルの関係 (バースト誤り環境) .....	67
図4.5	$n^{(1-2)}$ の平均値とBERの関係 (ランダム誤り環境) .....	68
図4.6	$n^{(1-2)}$ の平均値と受信レベルの関係 (バースト誤り環境) .....	68
図4.7	$n^{(2)}$ の平均値とBERの関係 (ランダム誤り環境) .....	70
図4.8	$n^{(1)}$ の平均値とBERの関係 (ランダム誤り環境) .....	70
図4.9	$n^{(2)}$ の平均値と受信レベルの関係 (バースト誤り環境) .....	71
図4.10	$n^{(1)}$ の平均値と受信レベルの関係 (バースト誤り環境) .....	71
図4.11	$C_v^{(1)}$ とBERの関係 (ランダム誤り環境) .....	73
図4.12	$C_v^{(2)}$ とBERの関係 (ランダム誤り環境) .....	73
図4.13	$C_v^{(1)}$ と受信レベルの関係 (バースト誤り環境) .....	74
図4.14	$C_v^{(2)}$ と受信レベルの関係 (バースト誤り環境) .....	74
図4.15	総スライド時間とBERの関係 .....	75
図4.16	総スライド時間と の関係 (ランダム誤り環境) .....	77
図4.17	総スライド時間と の関係 (バースト誤り環境) .....	77
図4.18	$n^{(1-2)}$ の平均値と の関係 (ランダム誤り環境) .....	78
図4.19	$n^{(1-2)}$ の平均値と の関係 (バースト誤り環境) .....	78
表4.1	スライド制御のパターン .....	62
図5.1	PHSライブメディア伝送システム構成図.....	82
図5.2	スライド制御 .....	83
図5.3	評価システムの構成 .....	88
図5.4	スループット(ランダム誤り環境) .....	89
図5.5	$n^{(1-2)}$ のRMS(ランダム誤り環境) .....	91
図5.6	ビデオの平均MU出力レート(ランダム誤り環境) .....	91

図5.7	ビデオの $\sigma_n^{(1)}$ のRMS(ランダム誤り環境) .....	92
図5.8	音声の $\sigma_m^{(2)}$ のRMS(ランダム誤り環境) .....	92
図5.9	音声の平均MU遅延時間(ランダム誤り環境) .....	93
図5.10	ビデオの平均MU遅延時間(ランダム誤り環境) .....	94
図5.11	量子化器情報の平均値とビデオMUサイズの平均値.....	95
図5.12	音声の平均MU遅延時間と $\sigma_n^{(1)}$ の関係.....	97
図5.13	$\sigma_n^{(1-2)}$ のRMSと $\sigma_n^{(1)}$ の関係 .....	97
図5.14	スループット(バースト誤り環境) .....	98
図5.15	$\sigma_n^{(1-2)}$ のRMS(バースト誤り環境) .....	99
図5.16	ビデオの $\sigma_n^{(1)}$ のRMS(バースト誤り環境) .....	99
図5.17	音声の $\sigma_m^{(2)}$ のRMS(バースト誤り環境) .....	100
図5.18	音声の平均MU遅延時間(バースト誤り環境) .....	100
図5.19	ビデオの平均MU遅延時間(バースト誤り環境) .....	101
図5.20	総スライド時間とビデオMUサイズの時間的变化.....	102
図6.1	H.223 Annex Cのプロトコル構成 .....	106
図6.2	ビデオMUと音声MUの時間関係 .....	107
図6.3	ライブメディア伝送システム構成図 .....	109
図6.4	評価システムの構成 .....	111
図6.5	スループットとBERの関係 .....	112
図6.6	$\sigma_n^{(1-2)}$ のRMSとBERの関係 .....	114
図6.7	$\sigma_m^{(2)}$ が $\sigma_n^{(1-2)}$ のRMSに及ぼす影響 .....	114
図6.8	音声の平均MU遅延時間とBERの関係 .....	115
図6.9	ビデオの平均MU遅延時間とBERの関係 .....	116
図6.10	ビデオの変動係数とBERの関係 .....	117
図6.11	音声の変動係数とBERの関係 .....	117
図6.12	MUX-PDUサイズが音声の平均MU遅延時間に及ぼす影響 .....	119
図6.13	MUX-PDUサイズがビデオの平均MU遅延時間に及ぼす影響 .....	119
図6.14	ビデオの平均MU遅延時間とビデオのAL-PDUサイズの関係 .....	120
図6.15	$\sigma_n^{(1-2)}$ のRMSとビデオのAL-PDUサイズの関係 .....	121
図6.16	$\sigma_n^{(1-2)}$ のRMSと $\sigma_n^{(1)}$ の関係 .....	122
図6.17	音声の平均MU遅延時間と $\sigma_n^{(1)}$ の関係.....	123
図6.18	ビデオの平均MU遅延時間と $\sigma_n^{(1)}$ の関係.....	123
表6.1	スライド制御のパターン .....	108
図7.1	プロトコルスタック .....	126
図7.2	PPPフレーム構成 .....	127
図7.3	実験システムの構成 .....	129
図7.4	$\sigma_n^{(1-2)}$ のRMSとCNRとの関係.....	132

図7.5	ビデオMUの出力間隔の変動係数とCNRとの関係 .....	133
図7.6	音声MUの出力間隔の変動係数とCNRとの関係 .....	134
図7.7	ビデオの総出力時間とCNRとの関係 .....	135
図7.8	音声の総出力時間とCNRとの関係 .....	135
図7.9	ビデオの平均MU出力レートとCNRとの関係 .....	136
図7.10	音声の平均MU出力レートとCNRとの関係 .....	137
図7.11	ビデオMUの欠落率とCNRとの関係 .....	138
図7.12	音声MUの欠落率とCNRとの関係 .....	138
図7.13	$A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$ の時間的経過 .....	139
図8.1	実験システムの構成 .....	144
図8.2	ビデオMUの欠落率とデータ負荷との関係.....	147
図8.3	音声MUの欠落率とデータ負荷との関係.....	147
図8.4	$\sigma_n^{(1-2)}$ のRMSとデータ負荷との関係 .....	148
図8.5	ビデオMUの出力間隔の変動係数とデータ負荷との関係.....	150
図8.6	音声MUの出力間隔の変動係数とデータ負荷との関係.....	150
図8.7	ビデオの総出力時間とデータ負荷との関係 .....	151
図8.8	音声の総出力時間とデータ負荷との関係 .....	152
図8.9	$\sigma_n^{(1-2)}$ のRMS (TCP vs UDP) .....	153
図8.10	ビデオMUの出力間隔の変動係数 (TCP vs UDP) .....	155
図8.11	音声MUの出力間隔の変動係数 (TCP vs UDP) .....	155
図8.12	ビデオの総出力時間 (TCP vs UDP).....	156
図8.13	音声の総出力時間 (TCP vs UDP).....	156

# 第1章

## 序論

### 1.1 モバイルマルチメディア通信

移動体通信システムの登場は、我々の生活を大きく変えた。そして、マルチメディア化の流れのなかで、移動体通信は、更なる変革をもたらそうとしている。

日本では、デジタル通信を特徴とする第二世代移動体通信システム[leice95]として、**PDC** (Personal Digital Cellular) [Arib98]と**PHS** (Personal Handy Phone System) [Arib97]が実用化されている。PDCは、多くの加入者に通話サービスを提供することを目的に開発された。特に、1台の基地局がカバーするセル半径が大きく(0.5 ~ 20 km)、しかも、既存の有線網とは独立した網を構築しており、高速移動にも十分対応できる。また、狭帯域化のために、音声符号化方式として11.2 kbit/sのVSELP (Vector Sum Excited Linear Prediction)を採用している。無線アクセス方式は3チャンネル多重TDMA/FDD (Time Division Multiple Access / Frequency Division Duplex)である。なお、同様のコンセプトを持つ**GSM** (Global System for Mobile Communications) [Etsi92]は、ヨーロッパで開発され、海外で広く普及している。

一方、PHSは、家庭のアナログコードレス電話をデジタル化し、コードレス電話としての機能と、屋外における簡易型携帯電話としての機能を、一つの端末で提供することを基本コンセプトに設計された。特に、既存のISDN (Integrated Services Digital Network)を活用した網構成を採用することで、低料金を実現した。また、サービスエリアをマイクロセル(セル半径は0.3 ~ 1 km)で構成することで、送信出力を低減でき、装置の小型化、軽量化、省電力化を実現した。しかし、高速移動には対応していない。音声符号化方式には32 kbit/sのADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) [Itu90]を採用している。無線アクセス方式は、4チャンネル多重TDMA/TDD (Time Division Duplex)である。なお、海外では、ヨーロッパで提案された**DECT** (Digital European Cordless Telephone) [Etsi96]等が、同様のコンセプトを持つ。

PDCは、1998年10月末現在、3700万加入に達し、更に増加の傾向にある。一方、PHSはサービス開始から約3年で650万加入を獲得したものの伸び悩んでいる。これは、多くのユーザが、いまだ音声だけのモノメディア通信で満足しており、サービスエリアの広さや、高速移動時での性能を重視するためである。しかし、マルチメディア通信の一つであるインターネットの普及が、高速なアクセスを実現できるISDNの加入者数を急激に増加させたように、いつでも、どこからでもマルチメディア通信を行いたいという要求は、移動体通信にモバイルマルチメディア通信の無線インフラストラクチャとしての機能を求めている。そして、近い将来、モバイルマルチメディア通信が、移動体通信の普及を牽引し、我々の生活に大きな変革をもたらすであろう。

PHSやPDC以外にも、移動体通信によるモバイルマルチメディア通信を実現するために、様々な研究開発が進められている。例えば、無線アクセス方式にCDMA (Code Division Multiple Access)を採用した携帯電話サービス[Ansi96]（通称、**cdmaOne**）が、1998年7月から日本でも開始された。cdmaOneでは、通信速度が14.4 kbit/sのデータ通信が可能であり、64 kbit/sのパケット通信サービスの提供も予定されている。また、第3世代移動体通信システムとして、最高2 Mbit/sまでの高速通信が可能な**W-CDMA** (Wideband CDMA) [Ieice98a]の開発も進められている。更に、屋外で最高25 Mbit/sまでの高速通信が可能な**MMAC** (Multimedia Mobile Access Communication Systems)も検討されており、光ファイバとのシームレスな接続を目指している[Nikke98a]。一方、66機の**低軌道周回衛星**を用いた携帯電話システムとして、IRIDIUMが1998年11月からサービスを開始した。但し、通話サービスが中心であり、データ通信速度は2.4 kbit/sでしかない[Ito97]。また、低軌道周回衛星を利用し、ビデオ伝送も可能なマルチメディア衛星通信システム (TELEDESIC, CELESTRI, SKYBRIDGE)の検討も行われている[Suzu98]。

ところで、音声だけでなくデータ、更にはビデオを伝送するには、ユーザに提供できる通信速度が問題になる。PDCでは、狭帯域化のために通信速度は11.2 kbit/sしかない。更に、フェージング等の影響を受ける無線通信環境でのデータ通信では、誤り制御の適用が重要になる。そのためPDCでは、誤り制御方式としてGo back N ARQ (Automatic Repeat reQuest) とSR-ARQ (Selective Repeat ARQ) を適応的に切り替えるWORM-ARQ (ARQ with Window control Operation based on Reception Memory) [Ito91]を無線区間に適用している。従って、実際の通信速度は9.6 kbit/sまで低下する。また、PDCパケット通信サービス[Onu96]も実現されている。これは、複数のチャンネルを同時に使用することで、9.6 kbit/sから最大28.8 kbit/sの通信速度を実現している。

一方、PHSでは、32 kbit/s非制限デジタルベアラサービスが提供されている。特に、データ伝送制御手順として標準化された**PIAFS** (PHS Internet Access Forum Standard) [Piaf97]は、最高29.2 kbit/sの高速・高品質な無線データ通信を可能にした。これは、2点間を結ぶデータリンクレベルのプロトコルであり、SR-ARQによる誤り制御を採用している。更に、2チャンネルを同時に使用した64 kbit/s非制限デジタルベアラサービスの提供も予定されている[Nikke98b]。また、最高128 kbit/sの通信速度が実現可能なパケット通信も検討されている[Yoshi96]。

データ通信だけであれば、低速なPDCでも利用可能である。また、データ通信のようなバーストラフィックには、PDCパケット通信も有効である。しかしながら、ビデオや音声のような**連続メディア**をも統合して伝送するモバイルマルチメディア通信を考えた場合、比較的高速であり、かつISDNとの親和性も高いPHSは、現在、および近未来におけるモバイルマルチメディア通信のインフラストラクチャとして十分な通信能力を持つ。もちろん、**H.263** [Itu96a]等の動画像圧縮符号化技術の進展により、PHSでも伝送可能な低ビットレートのビデオストリームを生成できるようになったことも大きく寄与している。従って、本論文では、モバイルマルチメディア通信の無線インフラストラクチャとしてPHSを選択する。

ところで、無線ネットワークによるマルチメディア通信に関するこれまでの研究では、主にトランスポート層以下を検討の対象とし、劣悪な無線通信環境のなかで、いかに通信サービス品質を保証するかが議論されている[Kon97]。しかしながら、エンドユーザにとっては、音質や画質等の各メディアの品質や、メディア相互の関係を含むメディア全体としての品質が十分保証されているかが最も重要な問題である。特に、通信サービス品質が十分に高くても、それは必ずしもメディアレベルとしての品質を保証するものではない。このようなメディアレベルの品質のなかで、通信の観点から特に重要なのが、メディアの時間的構造に係わる品質を扱う**メディア同期**[Blok96]である。すなわち、ネットワークの遅延揺らぎ等が、メディアの時間的構造を破壊してしまうのである。音声と唇の動き（ビデオ）を同期させる**リップシンク**は、その典型的な例である。

一方、ネットワークは多様化しており、通信サービス品質が異なる複数のネットワークを相互に接続して使用することも多い[leice98b]。特に、モバイルマルチメディア通信では、無線をアクセスネットワークとして利用する。例えば、PHSによるインターネットアクセスはその一例である。この場合、PHSの有線部分は回線交換ネットワークのISDNであり、各メディアの遅延揺らぎは小さい。しかし、PHSの無線部分では、ARQ適用時には、回線の状態が悪くなると再送による遅延揺らぎが大きくなる。一方、蓄積交換ネットワークであるインターネットでは、原理的に遅延揺らぎは大きい。従って、このような多元的な通信環境においても、利用するネットワークの種類や状態によらず、一定のメディア同期品質を達成できる機能の実現は、マルチメディア通信サービスにとって極めて重要である[Tasa98b]。そこで本論文では、メディアの時間的構造に着目し、その保持・回復を行うメディア同期の観点から、PHSによる高品質モバイルマルチメディア通信の実現を目指す。

以下、本章では、1.2節ではPHSによるモバイルマルチメディア通信、1.3節では低ビットレート対応動画像圧縮符号化方式に関し、その特徴を述べる。1.4節ではメディア同期の概要と研究動向について述べる。1.5節では2章以降の本論文の内容を示す。

## 1.2 PHSによるモバイルマルチメディア通信

PHSは、通話サービスに加えて、高速な非制限ディジタルベアラサービスを提供しており、これを利用すれば、音声、データ、ビデオを統合したモバイルマルチメディア通信を実現できる。

例えば、ベアラサービスにPIAFSを適用すれば、高速・高品質な無線データ通信が可能であり、ビデオ伝送にも利用できる。更に、PIAFSに対応したダイアルアップルータの登場は、PHSによるインターネットアクセスを実現し、インターネットプロトコルによる統合伝送も可能である。

一方、ITU-T (International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector)は、低ビットレートのマルチメディア通信を実現するための多重化プロトコルとして、**H.223 Annex** [Itu98a],[Itu98b],[Itu98c]を標準化した。これは、音声、ビデオ、データ等を一つの通信チャネル上にインタリーブ多重化して伝送するものである。特に、無

線通信環境のような伝送誤りが起きやすい通信環境を対象にしており、PHSのベアラサービスへの適用も可能である。

なお、PHSを介して既存の通信端末と接続するために、あるPHS通信事業者では、PTE (Protocol Transform Equipment)にPIAFSで接続し、PTEで28.8 kbit/sのアナログモデムやFAXに変換するサービスを提供している。一方、別のPHS通信事業者では、無線区間に独自の誤り制御方式LAPP (Link Access Protocol for PHS) [Toshi97]を適用し、基地局で14.4 kbit/sのアナログモデムやFAX、およびISDNに変換するサービス(メディア変換)を提供している。

以下、本節では、PHSのシステム構成、無線通信方式、PIAFSについて概要を説明する。

### 1.2.1 システム構成

PHSのシステム構成は、既存のデジタルネットワークを有効に活用しており、経済的にシステムを構築できる。一例として、あるPHS通信事業者が採用しているネットワーク構成を図1.1に示す。公衆基地局(Public Base Station)と加入者交換機(Local Switch)の接続は、ISDNのユーザ・網インタフェース(Iインタフェース)を利用する。但し、公衆基地局は、接続装置(ISMA: Interface Subscriber Module Adapter)を介して加入者交換機に接続されており、通常のIインタフェースとは仕様が若干異なる。屋外では、移動局(Personal Station)は公衆基地局と無線接続し、ユーザに通話サービス等を提供する。一方、家庭では、移動局は家庭用親機(Home Station)を介して公衆網にアクセスする。

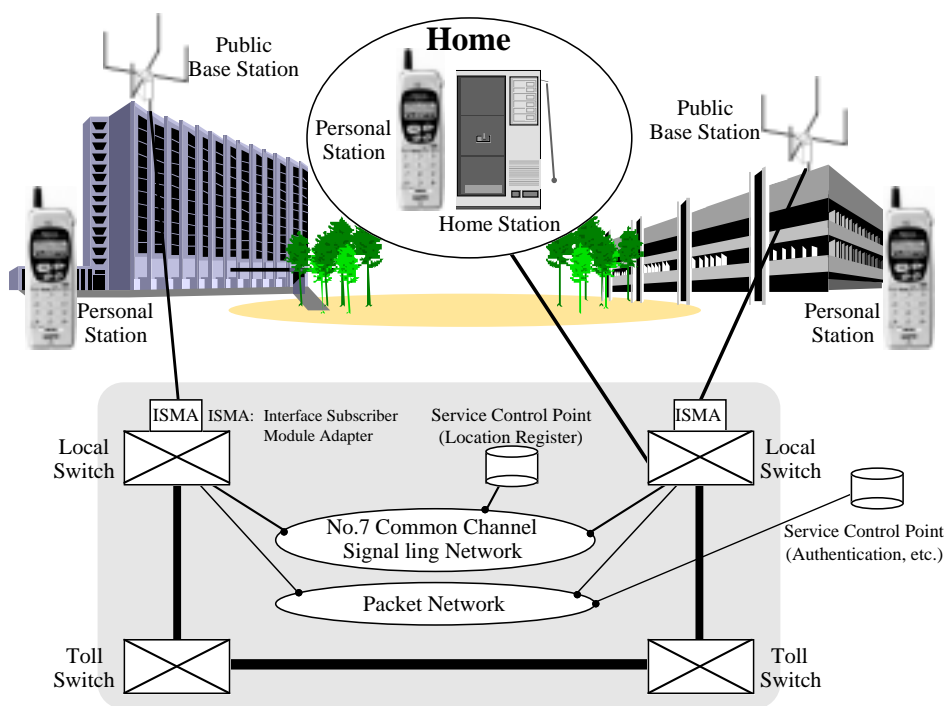


図1.1 PHSのシステム構成  
Fig. 1.1 Block diagram of PHS.



なお，ネットワークの構成，特に，NTT 網への依存形態は，PHS 通信事業者によって異なる．例えば，図 1.1 のネットワーク構成の特徴は，位置登録機能だけを NTT 網に依存し，それ以外の認証，課金等の機能を PHS 通信事業者が独自に構築していることである．すなわち，位置登録機能は，No.7 共通線信号ネットワークに接続された NTT 網内の SCP (Service Control Point) が提供する．一方，認証，課金等の機能は，パケット網(DDX-P: Digital Data Exchange-Packet Switch) に接続され，かつ PHS 通信事業者が独自に構築した別の SCP が提供する．

### 1.2.2 無線通信方式

PHS は，無線アクセス方式として，4 チャンネル多重マルチキャリア TDMA / TDD 方式を採用している．5 ms 周期の TDMA / TDD フレームは，長さ 0.625 ms のスロット 8 個に分割され，前半の 4 スロットが基地局から移動局への下りスロット，後半の 4 スロットが移動局から基地局への上りスロットに定義されている（図 1.2）．

対応する上下 4 スロットのうち，1 スロットは制御用物理スロット（制御チャンネル），残りは通信用物理スロット（通信チャンネル）である．通信用物理スロットは，必要に応じて移動局に割り当てられ，音声やデータ，制御情報等の送信に使用される．なお，ユーザ情報は，160 bit からなる情報チャンネル(TCH: Traffic Channel)に割り付けられる．従って，1 スロットあたり 32 kbit/s の伝送速度が実現される．一方，制御用物理スロットは複数の移動局で共有され，制御情報の送信に使用される．なお，下り制御チャンネルは，1 秒あた

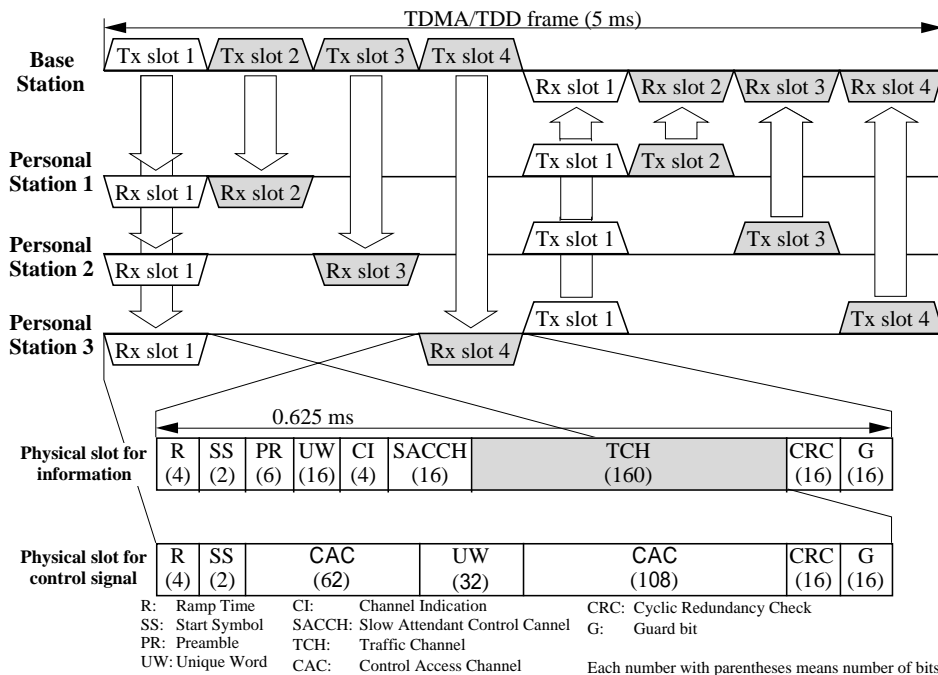


図1.2 TDMA/TDDフレームの構成

Fig. 1.2 Structure of TDMA/TDD frame.

り8スロット以下で間欠送信される。上り制御チャンネルは、基地局からの下り信号に同期したスロット付 ALOHA によるランダムアクセスが行われる。

PHSは、1.9 GHzの無線周波数帯において、キャリア周波数間隔を300 kHzとし、77のキャリアを定義している。制御用物理スロットが使用するキャリア周波数は、PHS通信事業者ごとに固有な一つの値が定められている。従って、制御チャンネルの衝突を防ぐために、基地局間で自律的に制御用物理スロットの送信タイミングをずらして配置する自律分散制御方式が適用されている。一方、通信用物理スロットが使用するキャリア周波数は複数のPHS通信事業者間で共有されており、各基地局はダイナミックチャンネル割り当て(DCA: Dynamic Channel Allocation)により自律分散的に最適な周波数を選択する。

### 1.2.3 PIAFS

PHSインターネットアクセスフォーラムは、PHSの32 kbit/s非制限デジタルベアラサービスに適用するデータ伝送制御手順としてPIAFSを標準化した。これは、データリンクレベルのプロトコルであり、最高スループット29.2 kbit/sの高速かつ高信頼の無線データ通信を可能にした。

PIAFSでは、誤り制御方式として、SR-ARQを採用している。ARQフレームの構造は640 bitを一つのARQフレームとし、ARQ制御情報とユーザデータを常に組み込むピギーバック方式(図1.3)である。PHSでは、1スロットあたり160 bitのユーザ情報が伝送できるので、1つのARQフレームは4スロット(4 × 5 ms)で伝送される。なお、ARQフレームの同期は通信開始時に確立される。

ユーザデータ領域(584 bit)には、データ長(DL)で指定したバイト数の有意データを設定し、16 bitのCRC(Cyclic Redundancy Check)によりARQフレームの誤りを検出する。また、CRCによりARQフレームの誤りを連続20回検出した場合には、ARQフレームの再同期処理が実行される。

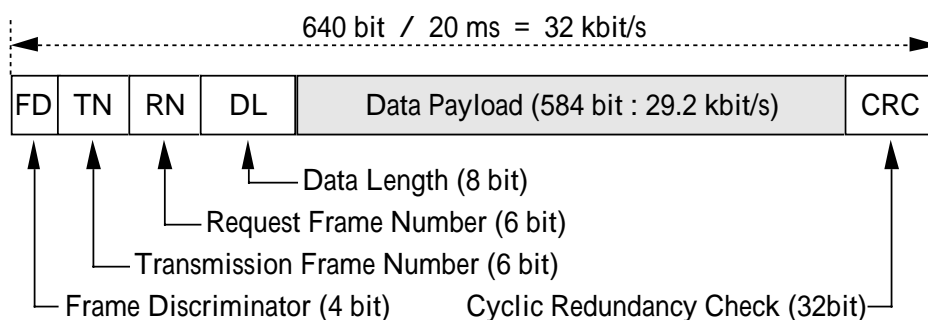


図1.3 PIAFSにおけるARQフレームの構成

Fig. 1.3 Structure of ARQ frame in PIAFS.

ARQ 制御情報は、フレーム種別識別子(FD)、送信フレーム番号(TN)、要求フレーム番号(RN)で構成される。ACK や NACK は FD において指定される。また、TN は送信情報フレームの順序番号、RN は受信情報フレームの順序番号を示す。

また、PIAFS は、通信開始時のインバンドネゴシエーションにより、使用するプロトコルを選択する機能を備えており、将来の新方式にも対応できる。なお、ビデオ等のリアルタイム伝送に適用するプロトコルの検討も進められている。但し、独自のプロトコルではなく、H.223 Annex をベースにしたプロトコルを標準化する予定である[Piaf98]。

#### 1.2.4 PHS によるマルチメディアアプリケーション

PHS によるマルチメディア通信を利用すれば、様々なマルチメディアアプリケーションが実現できる。ここでは、本研究で想定するサービスを、メディアの性質の異なる**蓄積メディア**と**ライブメディア**に分けて述べる。

蓄積メディアは、情報の符号化と伝送とが同時には行われないメディアである。即ち、符号化された情報は、一旦、メディアサーバ等に蓄積される。蓄積メディアを利用したアプリケーションとして、VOD (Video On Demand)がある。これは、メディアサーバに蓄積された音声やビデオを、必要に応じてモバイル端末に伝送し、再生表示するものである。例えば、映画、テレビ番組の予告、映像資料など様々なコンテンツの蓄積メディアに、どこからでもアクセスできる。

一方、ライブメディアは、情報の符号化と伝送とが、ほぼ同時に行われるメディアである。特に、双方向にライブメディアを伝送する場合には、インタラクティブ性を保証するために、低遅延を実現する必要がある。ライブメディアを利用したアプリケーションとして、テレビ電話やテレビ会議がある。これを利用すれば、例えば、1対1の英会話レッスンをどこでも受けられる。また、コンサートのリアルタイム伝送や、監視カメラなどのセキュリティにも利用できる。

また、蓄積メディアとライブメディアが混在する場合も考えられる。例えば、テレビ会議等では、ディスカッションの状況を伝えるライブメディアと、会議資料として提示した蓄積メディアとを、切り換えて使用することもあり得る。また、テレビ電話の付加サービスとして留守番テレビ電話サービスを考えた場合、サービスセンタにメッセージを録画する時は、ライブメディアの伝送である。しかし、サービスセンタにアクセスしメッセージを再生する時は、蓄積メディアの伝送となる。

### 1.3 低ビットレート対応動画画像圧縮符号化方式

低ビットレート対応の動画画像圧縮符号化方式として、ITU-Tは、**H.263** [Itu96a]や**H.261** [Itu93]を標準化している。また、MPEG (Moving Picture Experts Group)においても、低ビットレートに対応し、かつデータのスケラビリティやオブジェクト符号化等の機能を持つ**MPEG4** [Iso98]の標準化が進められている。なお、本論文では、H.261とH.263の利用を考える。

動画画像圧縮符号化方式のほとんどは、DCT (Discrete Cosine Transform: 離散コサイン変換)をベースにしており、DCTによって得られた係数を量子化して圧縮を行う。更に、隣接するビデオフレーム間の冗長性を利用して圧縮が行われる。このとき、ビデオフレームの参照関係により、**Iフレーム** (Intra frame: フレーム内符号化フレーム)、**Pフレーム** (Predictive frame: フレーム間予測符号化フレーム)、**Bフレーム** (Bi-directional predictive frame: 双方向予測符号化フレーム)に分類される。Iフレームは、ストリーム中の他のフレームを参照せず、独立して符号化される。Pフレームは、直前のI若しくはPフレームとの差分が符号化される。Bフレームは、その前後のI若しくはPフレームを参照し、その差分が符号化される。

H.263では、MPEG1等の他の符号化方式と異なり、符号量が大きくなるIフレームを周期的に挿入していない。基本的なH.263ビデオストリームでは、最初にIフレームが生成されるものの、その後は全てPフレームが生成される。このとき、量子化誤差の累積が画質を低下させる恐れがある。そこでH.263では、ビデオフレームを構成するマクロブロック単位で132回に1回以上のフレーム内符号化の適用を規定している。更にH.263は、PフレームとBフレームを一つのビデオフレーム(**PBフレーム**)として符号化するPBフレームモードをオプションで規定している。すなわち、Bフレームに関する情報をBブロックとしてPフレームの中に埋め込み、ヘッダ情報等の削減を行っている。

一方、符号発生量を制御するために、解像度制御が一般的に適用される。これには、**空間的解像度制御**と**時間的解像度制御**がある。空間的解像度制御は、量子化ステップサイズを制御することで符号発生量を制御する。例えば、量子化ステップサイズを大きくするほど画質は低下する。一方、時間的解像度制御は、符号化の対象とするビデオサンプルを間引く、すなわちフレームスキップを行うことで符号発生量を制御する。フレームスキップを多用すれば、フレームレートが低下し、ぎこちない動きのビデオになる。

## 1.4 メディア同期

ビデオや音声等は時間的構造を有している。このような連続メディアを伝送する場合、交換ノードにおける待ち行列での待ち合わせや、輻輳から生じるパケットの廃棄や経路変動等によるネットワーク遅延の揺らぎ、更に、ARQ適用時には再送による遅延揺らぎが、各メディアの時間的構造を乱してしまう。従って、メディアの時間的構造の保持・回復機構であるメディア同期制御が必要となる。

本論文では、文献[Shi95a]に従い、各メディアは、その出力単位である**メディアユニット(MU)**から構成されているものと仮定する。例えば、ビデオは1ビデオフレームを1ビデオMUとし、音声は一定の情報量をもって1音声MUを構成すると仮定する。図1.4にビデオMUと音声MUの時間関係を示す。図において、メディア発生源*i*における*n*番目のMUの発生時刻を $T_n^{(i)}$ 、*n*番目と*n+1*番目のMUの発生間隔を $_{n,n+1}^{(i)} (= T_{n+1}^{(i)} - T_n^{(i)})$ と定義する。なお、 $i=1$ はビデオ、 $i=2$ は音声を示す。

ここで、メディア同期には、**メディア内同期**と**メディア間同期**がある。メディア内同期は、単一メディア*i*を構成するMU間の発生間隔 $_{n,n+1}^{(i)}$ を、メディア出力先においても出力間隔として維持することである。更に、メディア間同期は、メディア1とメディア2の間で対応するMUの発生間隔 $T_n^{(1)} - T_m^{(2)}$ を、メディア出力先において同様に維持することである。なお、*m*は、メディア1の*n*番目のMUの直前に発生したメディア2の番号を示す。

### 1.4.1 研究の動向

メディア間同期のずれを、ユーザがどの程度まで許容できるかは、メディアの種類やその内容、そしてユーザ自身に大きく依存する。これらの許容条件を明らかにすることは、メディア同期に関する設計目標を決める上で重要である。文献[Ste96]は、この問題に対

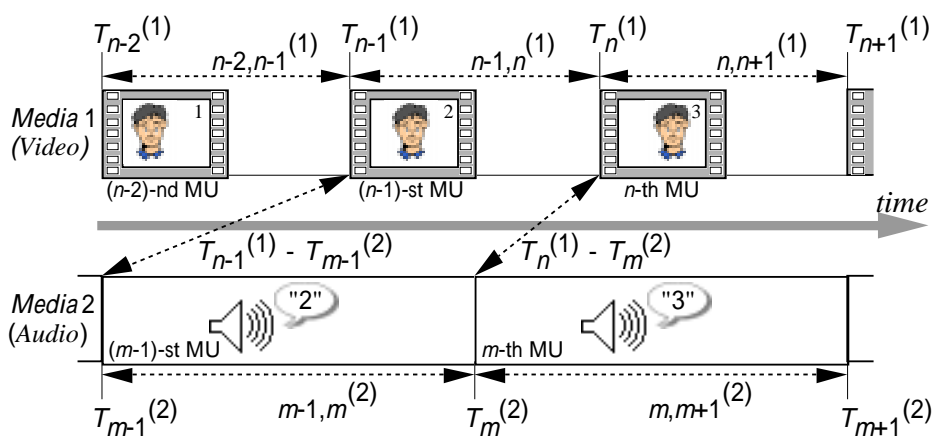


図1.4 ビデオMUと音声MUの時間関係

Fig. 1.4 Temporal relationship between video and audio MUs.

して数多くの実験を行い，多くのユーザが不自然さを感じない条件を示している．例えば，ビデオと音声のメディア間同期の場合，両者のずれが80 ms以内であれば良好な状態であり，160 ms 以上であれば同期外れの状態であると報告している．

一方，メディアの時間的構造を保持・回復するためのメディア同期制御方式として，既にいくつかのものが提案されている．例えば，受信側に適用するメディア同期制御方式として，VTR (Virtual Time Rendering) アルゴリズム[Ishi95a],[Tasa97a]，MultiSynch [Chen96]，Anderson&Homsy の方式[Ande91]等がある．これらは，ある時間軸をもとに，MUの出力時刻の制御や廃棄を行うものである．また，パケット遅延を予測し，送信タイミングを制御することで遅延揺らぎを小さくする方法[Cort95]，またその予測にカルマンフィルターを用いる方法[Tree97]等も提案されている．なお，VTR アルゴリズムは，本論文の基礎概念を与えるものであり，次節でその概要を説明する．

ところで，メディア同期に関する多くの研究は，インターネットやATM (Asynchronous Transfer Mode)等の有線ネットワークを検討の対象としている[Kou96],[Ishi97a],[Ishi96a],[Ishi96b],[Ishi95b]．無線ネットワークに関しては，文献[Tasa97b],[Naka97],[Tasa96a],[Tasa96b]が無線 LAN (Local Area Network)におけるメディア同期を検討している．これは，蓄積交換系ネットワークにおける無線・有線統合通信環境を検討の対象としていると言える．しかしながら，PHSのように回線交換系ネットワークをベースとした無線・有線統合通信環境，更に，PHSによるインターネットアクセスのように，設計思想の異なる回線交換系ネットワークと蓄積交換系ネットワークをも統合した無線・有線統合通信環境においては，メディア同期に関する検討は全く行われていない．

なお，文献[Ishi97b],[Ishi97c]では，マルチキャスト通信環境における**端末間メディア同期**の問題を扱っている．

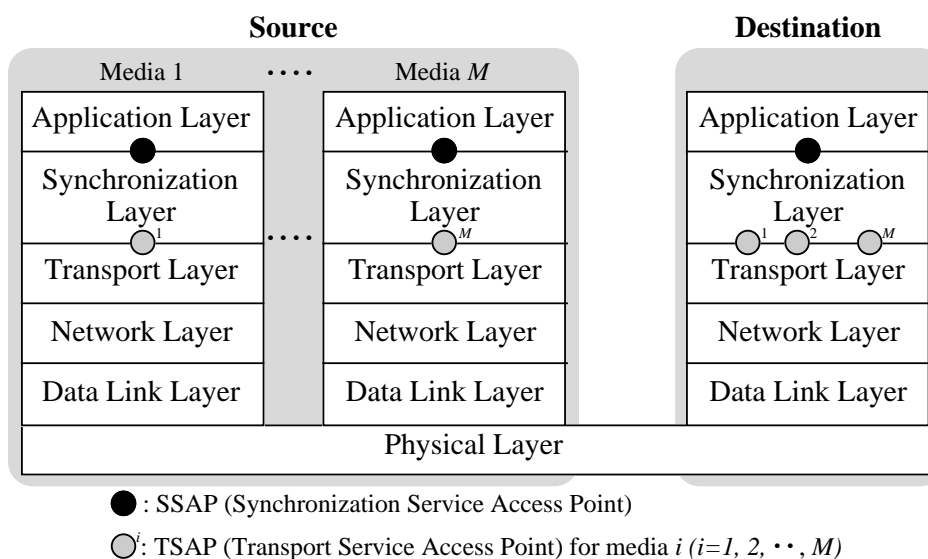


図1.5 メディア同期モデル

Fig. 1.5 Media synchronization model.

## 1.4.2 VTR アルゴリズム

VTRアルゴリズムは、実時間軸でなく、伸縮可能な仮想的な時間軸を基準にして各MUの出力タイミングを制御することを特徴とするメディア同期制御方式である[Tasa98a]。

VTRアルゴリズムでは、図1.5のようなメディア同期モデルを仮定している。このモデルは、 $M$ 個のメディア発生源からのメディアを、ネットワークを介して一つのメディア出力先に転送する場合を想定している。各メディア発生源、およびメディア出力先は、トランスポートレイヤの上位レイヤとして**同期レイヤ**を有する。この同期レイヤはセッションレイヤとプレゼンテーションレイヤに相当する。同期レイヤは、SSAP (Synchronization Service Access Point)を介して、アプリケーションレイヤとMUの入出力を行う。TSAP (Transport Service Access Point) は、各メディア発生源においてそれぞれ一つしか存在しないが、メディア出力先においてはメディアの数だけ存在する。

各メディア発生源における同期レイヤでは、各MUにその発生時刻を表すタイムスタンプを付与する。メディア出力先の同期レイヤでは、このタイムスタンプを用いて同期制御を行う。すなわち、タイムスタンプをもとにメディア同期を維持する上で目標となる出力時刻（目標出力時刻）を計算し、その時刻に出力を試みる。ネットワークの遅延揺らぎによって、MUの到着時刻が乱れた場合には、目標出力時刻を変更する。そして、その後は、変更された目標時刻の時間軸に基づいて同期出力を行う。

例えば、蓄積メディアの伝送では、目標出力時刻を遅らせることで、伝送遅延が増加するものの同期外れの発生頻度を少なくできる。また、これに伴い再生時間が増加するが、目標出力時刻の変更量が少なければ、主観的には大きな問題にならない。一方、ライブメディアの伝送では、メディア同期を維持しつつ、しかも、できるだけ伝送遅延を小さくしなければならない。従って、ネットワークの状況に応じて、目標出力時刻を遅らせたり、進めたりする必要がある。

なお、メディア間同期制御は、メディア相互にマスターとスレーブの関係を設定し、スレーブメディアがマスターメディアの出力に同期出力することで行われる。通常、遅延に対する要求条件が厳しい音声はマスターメディア、ビデオはスレーブメディアとする。

## 1.4.3 PHS によるモバイルマルチメディア通信時のメディア同期の問題

PHSでビデオ伝送を行うには、H.263等の低ビットレート対応の圧縮符号化方式を利用する。これはフレーム間相関を高度に利用するために誤りの影響を受けやすく、その伝送には誤り制御の適用が不可欠である。特に、フェージング等の影響を受ける無線通信環境では、誤り訂正能力に限界があるFEC (Forward Error Correction)よりも、確実に訂正できるARQの適用が重要になる。

ところが、再送による伝送遅延の増加、およびその揺らぎは、連続メディアであるビデオ情報の時間的構造を乱してしまう。特に、PHSでビデオ伝送する場合、画質を向上するためにPHSの伝送容量とほぼ等しくなるようにビデオの符号発生量を制御することが多く、再送の影響はより顕著になる。また、ビデオフレームサイズの大小も、伝送遅延

と共にビデオのメディア内同期にも影響を及ぼす。更に、ビデオと共に音声を同時に伝送する場合には、ビデオのメディア内同期の乱れが、音声とビデオのメディア間同期の乱れとしても問題になる。

しかしながら、例えば、モバイルマルチメディア通信の多重化プロトコルに関する標準規格であるH.223 Annexや関連する標準においてさえ、ネットワークの遅延揺らぎ等によるメディア同期の問題に関しては検討がなされていない。そこで本論文では、メディア同期の観点から、PHSによる高品質モバイルマルチメディア通信の実現を目指す。

## 1.5 本論文の内容

ここでは、本論文の第2章以降の内容を記述する。

第2章では、まず、PHSによるビデオ伝送プロトコルに関して議論を行う。特に、ARQによるメディア同期の乱れやスループットの低下をFECにより軽減することを考え、H.261の誤り訂正手段とPHSの誤り検出手段とを有効に活用した**FEC/SR-ARQハイブリッド方式**を提案する[Kato96a]。これは、無線区間の受信局側で、H.261の誤り訂正手段の能力を超えた誤りの発生を、誤り訂正結果にPHSの誤り検出手段を適用して検出し、誤りスロットを選択的に再送するものである。更に、ビデオフレーム廃棄によるメディア内同期メカニズムを適用する。そして、ランダム誤りとバースト誤りの各環境下で、ビデオのライブ伝送における系統的な性能評価、特にメディア内同期まで含めた性能をシミュレーションにより明らかにする。なお、第2章では、有線系既存ビデオ端末との相互接続性の観点から、64kbit/sのH.261ビデオ情報を移動局と基地局間で2スロットを使用してライブ伝送するシステムを仮定している。

第3章から第8章では、メディアの時間的構造を保持・回復するために、メディア同期制御方式として**スライド制御**を提案し、その有効性について議論する。なお、第3章から第6章では、シミュレーションにより性能評価を行うが、第7章と第8章では、提案方式を実装し、実験により性能を評価する。

まず、第3章と第4章では、PHSによる蓄積メディア伝送時のメディア同期性能を検討の対象とする。特に、PHSの二つの通信チャネルを使用し、32kbit/sベアラサービスにARQを適用してH.263圧縮ビデオ情報を、通話サービスと同様に無手順でADPCM音声情報を、同時に伝送しながら再生する場合を考える。これは、PHSが既に提供している通話サービスと32kbit/sベアラサービスを活用して、モバイルマルチメディア通信を実現することを想定しての選択である。

第3章では、受信側に適用するメディア同期制御方式としてスライド制御を提案する[Kato97a],[Kato97b]。これは、ネットワークの状況に応じて目標出力時刻を後方に変更し、遅れたビデオ情報に音声情報を再同期することでリップシンクを実現するものである。特に、目標出力時刻の変更が音声に及ぼす影響を考慮したきめ細やかな制御を行う点において、スライド制御はVTRアルゴリズムと異なる。なお、ビデオのメディア内同期ずれ時間により目標出力時刻の変更を判断する。一方、ビデオ情報はPHSの伝送容量とほぼ等しくなるように符号発生量を制御されて符号化かつ蓄積されている。そのため、ひとたび



再送により遅延が発生すると、連続的にその影響を受ける可能性がある。しかしながら、送信側において伝送すべき情報量を削減すれば、再送による遅延の影響を回復することが期待できる。そこで、蓄積されたビデオ情報から通信状態に応じて双方向予測符号化情報を廃棄する**Bブロック廃棄制御**を提案する[Kato97a],[Kato97b],[Kato96b]。これは、H.263のビデオフレーム間の相関関係に着目し、符号化済みのビデオ情報から画像を乱すことなく送信情報量を削減するものである。そして、実際のビデオ情報および音声情報を使用すると共に、主観評価も可能なシミュレーションシステムを構築し、スライド制御、およびBブロック廃棄制御の有効性を確認する。

第4章では、スライド制御の改良方式を提案する。第3章で提案したスライド制御は、ビデオのメディア内同期ずれ時間に応じて目標出力時刻を変更している。しかしながら、目標出力時刻の変更時には、既に受信バッファに十分なビデオ情報が無いために、メディア同期が連続的に乱れる可能性がある。すなわち、受信バッファのビデオ情報量が低下する以前にスライド制御を実行すれば、メディア同期性能の改善を期待できる。そこで、第4章では、受信バッファのビデオ情報量に応じたスライド制御の併用を提案し[Kato98a],[Kato97c],[Kato97d]、その有効性について議論する。

第5章と第6章では、PHSによるライブメディア伝送時のメディア同期性能について検討する。特に、蓄積メディア同期制御方式と整合性のあるライブメディア同期制御方式を考える。これは、テレビ会議等において、蓄積メディアとライブメディアを切り換えて使用する場合を想定しての判断である。

第5章では、伝送遅延を小さくする必要があるライブメディアの特性を考慮したスライド制御の拡張方式を提案する[Kato98b],[Kato97e]。特に、後方へのスライド制御により増加した伝送遅延を削減するために、目標出力時刻を前方にも変更できるようにスライド制御を拡張する。また、伝送遅延が大きくなりすぎないように、後方へのスライド制御を制限する。一方、PHSでビデオをライブ伝送する場合、ビデオフレームサイズの大小が、伝送遅延と共にメディア同期にも影響を及ぼす。そこで、送信側において、符号発生量やビデオフレームサイズを制御するために、空間的・時間的解像度制御を適用する。そして、第3章や第4章と同様のネットワーク構成において、スライド制御の拡張方式の性能をシミュレーションにより明らかにする。

第6章では、ITU-Tで標準化されたH.223 Annex C [Itu98c]をPHSに適用した場合において、メディア同期性能を評価する[Kato98c],[Kato98d],[Kato98e],[Kawa97]。H.223 Annex Cは、無線通信環境のような伝送誤りが起きやすい通信環境において、低ビットレートのマルチメディア通信を実現するための多重化プロトコルを規定している。特に、音声、ビデオを一つの通信チャネル上にインタリーブ多重化し、ビデオをARQで、音声を無手順で伝送する。しかしながら、H.223 Annex Cや関連する標準において、メディア同期に対する検討はなされていない。そこで、H.223 Annex CをPHSの64 kbit/sベアラサービスに適用した場合におけるメディア同期性能を明らかにすると共に、スライド制御の有効性を調べる。また、トレードオフの関係にある伝送遅延とメディア同期品質を制御するためにQOS (Quality of Service)制御方式を提案し[Kato98c],[Kato98d],[Kato98e]、その有効性についても議論する。

第7章と第8章では、通信サービス品質が異なる複数のネットワークを相互に接続した多角的な通信環境におけるスライド制御の有効性を議論する。特に、PHSによるインターネットアクセスにおける蓄積メディア同期性能を実験により評価する。

第7章では、PHSによるインターネットアクセスにおける蓄積メディア同期性能を、無線通信環境における影響に焦点を合わせて議論を行う[Kato98f],[Kato98g]。すなわち、フェージング周波数やCNR (Carrier to Noise Ratio)等の無線通信環境が、メディア同期性能に及ぼす影響を調べる。特に、モバイル端末とダイヤルアップルータ間にPIAFSを、モバイル端末とインターネット上のメディアサーバ間にUDPを適用し、モバイル端末が受信したビデオと音声を同期・出力する実験システムを構築する。更に、メディア同期制御方式として、スライド制御を一部拡張して実装し、スライド制御の有効性を実験により明らかにする。

更に、第8章では、PHSによるインターネットアクセスにおいて、インターネット上の遅延揺らぎが蓄積メディア同期性能に及ぼす影響について議論する[Kato98h],[Tasa98c]。すなわち、PHSの無線通信環境の影響に加え、インターネット上の負荷トラヒックの影響も含めて、総合的にメディア同期性能を評価し、多角的な通信環境におけるスライド制御の有効性を示す。

第9章では、結論、および今後の課題を示す。

## 第2章

# PHSにおけるビデオ伝送方式の性能評価

### 2.1 まえがき

本章では、PHSによるビデオ伝送プロトコルに関して議論を行う。特に、ARQの適用に伴うメディア同期の乱れやスループットの低下を、FECにより軽減することを考える。

PHSでビデオ伝送を行うには、低ビットレート対応の動画像圧縮符号化方式を利用する。例えば、ISDNによるテレビ電話・会議システム[ITU97]で利用されているH.261 ( $p \times 64$  kbit/s,  $p = 1, 2, \dots$ ) [ITU93]でも、PHSの2スロットを使用すれば利用可能である。そこで本章では、H.261を採用した有線系既存ビデオ端末との相互接続性を重視し、PHSの2スロットを使用して64 kbit/sのH.261ビデオ情報を、移動局と基地局間で伝送するシステムを前提に評価を行う。

ところで、圧縮ビデオ情報はフレーム間予測符号化方式の適用や可変長符号の多用により、ひとたび伝送誤りが発生すると、その影響が連続したビデオフレームに現れる可能性がある。そのため、H.261では、BCH符号(Bose-Chaudhuri-Hocquenghem Code)による誤り訂正技術を適用し、エラー耐性を向上している。しかし、PHSでは、ランダム誤りに加えて、フェージング等によるバースト誤りの影響が大きく、FECによる誤り訂正能力を超えた誤りが発生する可能性がある[iba94]。

この問題を解決するために、ARQの適用が考えられる。しかし、2スロットをビデオ伝送に用いるとしても、画質を向上するために、PHSの伝送容量とほぼ等しくなるようにH.261の情報発生量を制御することが多い。そのため、限られた伝送容量のなかでどのようなプロトコルを適用してスループットを向上するかが大きな課題となる。

またH.261では、画像の複雑さや動きの激しさに伴う符号発生量の変動を量子化特性やフレームスキップ等により制御（いわゆる時間・空間的解像度制御）し、送信端末と受信端末とが固定速度で情報交換を行うことを前提としている。そして、これにより送信側でのビデオ発生間隔と受信側でのビデオ表示間隔との同期、すなわち、メディア内同期を維持している。しかし、ARQを適用すると再送により固定速度で情報交換できず、メディア内同期が乱れてしまう。このため、メディア内同期をどのように制御するかも重要な課題である。

PHSによるビデオ伝送に関するこれまでの研究としては、1スロット上にHDLC (High-level Data Link Control Procedure)によるARQを適用し、再送回数に応じてビデオの時間・空間的解像度を制御する方式の実験による性能評価が報告されている[Kuro95]。しかし、さまざまな誤り環境における系統的な性能評価、特にメディア内同期まで含めた性能評価は行われていない。また、ARQによりビデオ伝送する場合、ビット誤り率(BER: Bit

Error Rate)が悪い環境ではパケットサイズが小さいほうが伝送効率を高くできると報告されており[Goto94]，HDLCより高効率なビデオ伝送プロトコルが求められている．更に，ARQに加えてFECを有効に活用すれば，スループット等の向上が見込まれる．この点については，これまでデータ通信における検討[Sato94]が見られるだけで，ビデオ伝送における検討は行われていない．

そこで本章では，PHSにおけるビデオ伝送プロトコルとして，H.261に採用された誤り訂正手段と，PHSの各スロットに付加された誤り検出手段とを有効に活用することを考える．すなわち，無線区間の受信局側で，H.261の誤り訂正手段の能力を超えた誤りが発生したことを，誤り訂正結果にPHSの誤り検出手段を適用して検出し，誤りスロットを選択的に再送する方式を提案する．これをFEC/SR-ARQハイブリッド方式と呼ぶ．これにより，ARQの適用に伴うメディア同期の乱れやスループットの低下を，FECにより軽減することが期待できる．更に，送信側において，ビデオフレーム廃棄による解像度制御を適用する．また，ランダム誤り環境だけでなく，歩行時を想定したバースト誤り環境における評価も重要であると考えた．そのため，それぞれの通信環境において，H.261で圧縮符号化された実際のビデオ情報を使用したシミュレーションを行い，その性能を評価する．また，2スロットを使用したSR-ARQ方式との比較も行う．

本章の構成は次のとおりである．2.2節では提案方式について述べる．2.3節ではシミュレーションの仮定について述べる．2.4節では数値結果と性能評価を報告する．

## 2.2 ビデオ伝送方式の提案

### 2.2.1 TDMA/TDD方式とH.261のFECフレーム

PHSはTDMA/TDD方式を採用している．5ms周期の1フレームは8スロットに時分割され，前半の4スロットが基地局から移動局への下りスロット，後半の4スロットが移動局から基地局への上りスロットに定義されている．移動局は対応する上下スロットを一つ又は複数使用して双方向通信を行う．

図2.1にPHSのスロット構成とH.261のFECフレーム構成を示す．240ビットで構成される各スロットには，情報チャネルとしてTCH (Traffic Channel: 160ビット)とSACCH (Slow Attendant Control Channel: 16ビット)が定義され，これらを利用すればビデオ伝送が可能である．また16ビット-CRC (生成多項式:  $1+X^5+X^{12}+X^{16}$ ) が定義され，チャネル識別子(Channel Discriminator)，SACCH，TCHに対して誤り検出が可能である．

H.261は512ビットのFECフレームを伝送単位とする．フレーム同期ビット(Synchronizing Signal)に続き，圧縮符号化されたビデオ情報(Data Payload: 493ビット)が定義される．更に，BCH(511, 493)誤り訂正符号 (生成多項式:  $(1+X^4+X^9)(1+X^3+X^4+X^6+X^9)$ ) を採用しており，18ビットのパリティビットが付加される．これにより2ビットまでのランダム誤りか，6ビットまでのバースト誤りを訂正できる．

## 2.2.2 FEC/SR-ARQ ハイブリッド方式

H.261は、有線伝送では誤り訂正結果に誤りが残留する確率が十分小さいとし、誤り検出手段を適用していない。しかし、PHSでH.261のビデオ情報を伝送する場合、フェージング等の影響により、誤り訂正能力を超えた誤りが発生する可能性がある。そのため、誤り検出手段を適用したARQを行う必要がある。

このとき、送信端末のH.261符号化部が付与した誤り訂正符号を、受信端末のH.261復号化部が利用するだけでなく、基地局等無線区間の受信局でも活用することを考える。すなわち、無線区間で誤り訂正能力を超えた誤りが発生したことを、受信局が誤り訂正結果に誤り検出手段を適用して検出し、再送を行えば、ARQを適用しても高いスループットが得られると考えた。

一方、誤り検出符号にも誤り訂正効果が得られるように、FECフレームの内部に誤り検出符号を定義することも考えられる。しかしPHSでは、誤り検出手段として各スロットにCRCが定義されており、情報の冗長を避け、かつ有線系既存ビデオ端末との相互接続性を考慮し、PHSの誤り検出手段の活用を考えた。

そこで本章では、無線区間の受信局側で、H.261の誤り訂正手段の能力を超えた誤りが発生したことを、誤り訂正結果にPHSの誤り検出手段を適用して検出し、誤りスロットのみを選択的に再送するFEC/SR-ARQ方式を提案する。以下にその動作原理を示す。なお、ビデオ情報はTCHで伝送され、ACK/NACKやスロット番号等の制御情報はSACCH

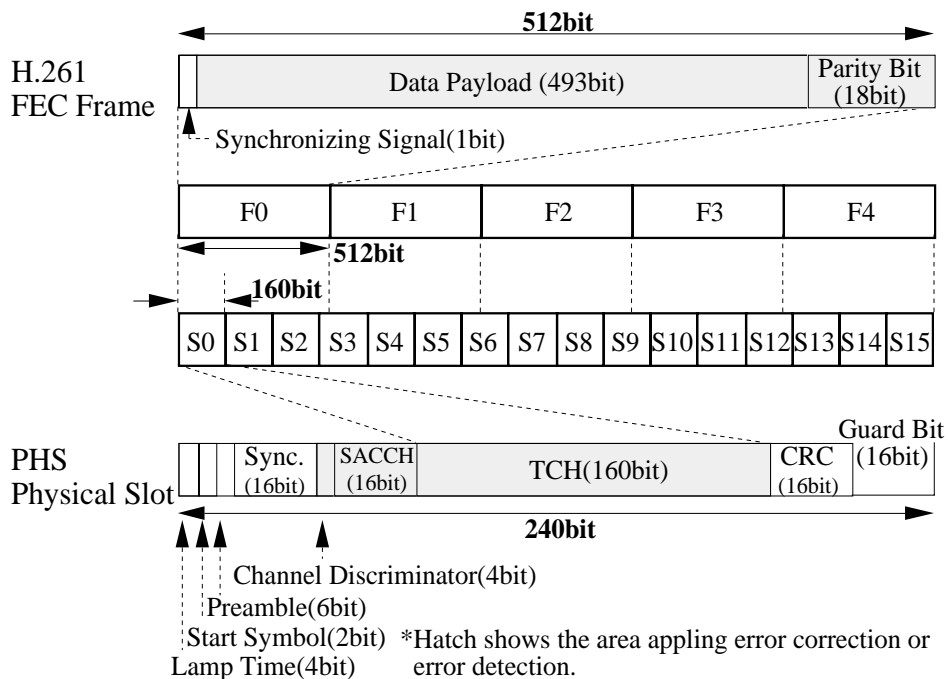


図2.1 PHSの物理スロットとH.261のFECフレームの構成

Fig. 2.1 Structure of a physical slot for PHS and FEC frame for H.261.

に相当するチャンネルで伝送される。また図2.1から明らかなように、5個のFECフレームをちょうど16個のロットで伝送でき、FECフレームとロットの対応が容易に特定できる。

- A:** 送信局は同一フレーム内の2ロットを使用し、FECフレームとロットとの対応を示すロット番号(0 ~ 15)と、ビデオ情報とを送信する。
- B:** 受信局は同一フレーム内の2ロットを受信し、かつロット番号により一つのFECフレームを受信し終えたと判断した時点で、以下の処理を行う。
  - b1:** FECフレームを構成する各ロットに対し、CRCによる誤り検出を行い、誤りが検出されなければ、受信済みロット番号を含むACKを返送する。
  - b2:** CRCにより誤りが検出されれば、FECフレームに対し誤り訂正を行う。
  - b3:** 誤り訂正されたFECフレームを構成する各ロットのうち、b1で誤りを検出したロットだけに対し、再度CRCによる誤り検出を行う。誤りが検出されなければ、受信済みロット番号を含むACKを返送する。ここで、b1で誤りを検出したロットだけを対象としたのは、誤り訂正能力を超えた誤りの発生により、b1で誤りを含まなかったロットまでも誤訂正してしまうことを避けるためである。
  - b4:** 誤りが検出されれば、そのロット番号を含むNACKを返送する。但し、引き続きFECフレームにまたがるロット(図2.1ではS3, S6, S9, S12)に誤りが検出された場合、次のFECフレームで訂正される可能性があるため、そのロットの再送要求は行わず、その直前までの各ロットに対しACK/NACKの返送を行う。
- C:** NACKを受信した送信局は、以下の手続きにより再送を行う。
  - c1:** 1ロットだけの再送が要求された場合、ロットダイバーシチ[Yama95]を適用し、次の2ロットに同じ情報を乗せて再送する。
  - c2:** 2ロットの再送が要求された場合、次の2ロットを使用して再送する。
  - c3:** 3ロット以上の再送が要求された場合、まず先頭の2ロットに対してc2と同様の処理を行い、更に、送信が完了しないロット数に応じて、c1, c2, c3と同様の処理を行う。
- D:** 再送ロットを受信した受信局は、Bと同様の処理を行う。なお、ロットダイバーシチが適用された再送ロットを受信した場合、Bと同様の処理により、誤りが検出されない再送ロットを選択する。

### 2.2.3 ビデオフレーム廃棄による解像度制御

ARQを適用したビデオ伝送では、再送等の影響により、送信側で各ビデオフレームが発生した時間間隔と、受信側でこれを表示する時間間隔が大きく異なることがある。この場合、動きが不自然なビデオとして表示されてしまう。そのため、送信側での各ビデオフレームの発生時間間隔を受信側でも再現するメディア内同期が必要となる。

ところでH.261は、メディア内同期を維持するために、送受信端末が固定速度で情報交換することを前提とする。そのため、符号発生量の変動は、H.261符号化部の送信バッファの使用率に応じた量子化特性の制御、およびフレームスキップの適用により吸収される。従って、ARQを適用する場合においても、H.261符号化部の送信バッファから固定速度でビデオ情報を読み出す必要がある。

そこで本章では、H.261の送信バッファの後段に、より大きな二次送信バッファを設け、常に一定速度(64 kbit/s)で二次送信バッファにビデオ情報を読み出し、これをFEC/SR-ARQ方式により伝送するシステムを考える。図2.2に、送信機構成図を示す。

更に、本章では、再送等により乱れたメディア内同期を制御するために、二次送信バッファにおいて、大きな送信遅延が生じたビデオフレームを強制的に廃棄する解像度制御を適用する。

例えば図2.3に示すように、送信側で、あるビデオフレーム( $n$ )の送信が完了するスロット終了時に、既にビデオフレーム( $n+2$ )以降が発生した場合を考える。このとき、同じスロットで、ビデオフレーム( $n+1$ )の先頭部分も送信されているため、ビデオフレーム( $n+2$ )以降をビデオフレーム廃棄の対象とする。そして、ビデオフレーム( $n+1$ )の送信が完了するまでの間に発生した最新のビデオフレーム( $m$ )の直前のビデオフレーム( $m-1$ )までを強制的に廃棄することにより、メディア内同期を維持する。なお、ビデオフレーム( $n+1$ )の最後の部分と次のビデオフレームとにまたがったスロットでは、次のビデオフレームに相当する部分にダミーコードを挿入し、受信側でこれを読み捨てるものとする。

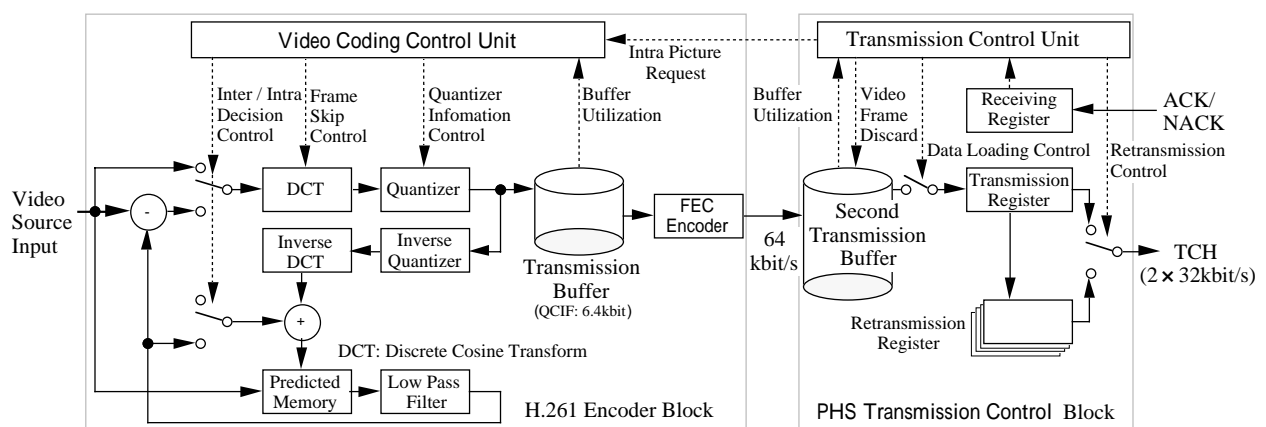


図2.2 送信機構成図

Fig. 2.2 Block diagram of the transmitter.

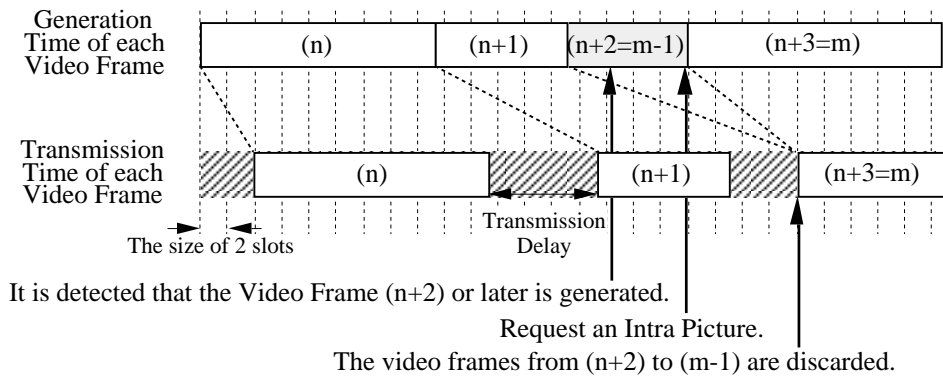


図2.3 ビデオフレーム廃棄による解像度制御

Fig. 2.3 Resolution control scheme by video frame discard.

このようなビデオフレーム廃棄を行った結果、フレーム間予測符号化方式を適用したビデオ情報は乱れるため、H.261符号化部に対しフレーム内符号化の適用を要求する。また、FECフレームも再構築する必要があるが、大きな処理負荷にはならない。

## 2.3 シミュレーションの仮定

本章では、ランダム誤りとバースト誤りの両方の通信環境において、H.261で圧縮符号化された実際のビデオ情報を使用してシミュレーションを行う。

### 2.3.1 ランダム誤り環境における仮定

ランダム誤り環境におけるシミュレーションを行うにあたり、以下の仮定を置く。

- A1. 幾何分布によりビット誤りが発生するビット位置を決める。
- A2. ビット誤りは、H.261のビットストリームを伝送するTCH（160ビット期間）のみに発生し、CRCやACK/NACK等の制御情報には発生しない。
- A3. ACKやNACKは、これらの返送要求が発生した直後の対応するスロットで速やかに返送する。また、再送要求の廃棄はしない。
- A4. ビデオの二次送信バッファサイズは無限大。
- A5. PHS基地局のゾーン半径は数百mであり、移動局と基地局間における電波伝搬遅延を無視する。
- A6. シミュレーション時間は1時間とする。また、各測定値の95%信頼区間を求める。なお、以後に示す各グラフにおいて、95%信頼区間もあわせて示す。但し、プロットするシンボルの大きさより小さい場合は、これを明記しない。



### 2.3.2 バースト誤り環境における仮定

バースト誤り環境に対するシミュレーションを行うにあたり，以下の仮定を置く．

**A1.** バースト誤り環境として2状態マルコフ連鎖モデル[Luck68]を適用し，バースト状態から良好状態への遷移確率を  $P_{10}$ ，良好状態からバースト状態への遷移確率を  $P_{01}$  と定義する．また全体のBERを  $B_e$ ，バースト内BERを  $B_b$ ，バースト外BERを  $B_o$  と定義し，平均バースト長を  $L_b$ ，平均バースト発生間隔を  $L_g$  と定義する．これにより  $t$  時間内の状態遷移確率  $P_{ij}(t)$  とは，次式で与えられる．

$$P_{10}(t) = 1 - \exp(-t/L_b)$$

$$P_{01}(t) = 1 - \exp(-t/L_g) = 1 - \exp[-t \times (B_e - B_o) / \{L_b \times (B_b - B_o)\}]$$

図2.4に状態遷移確率  $P_{10}$ ， $P_{01}$  と受信レベルの関係を示す．これは文献[Fuji94]に記載された歩行時(フェージング周波数8 Hz)における各受信レベルと  $L_b$ ， $B_e$  の関係をもとに算出した．なお  $P_{10}$  は， $P_{01}$  の値を変えてもほぼ同じ確率を示している．

**A2.** 幾何分布によりバースト状態に遷移するビット位置および良好状態に遷移するビット位置を決める．

**A3.** 良好状態でランダム誤りを付加する場合， $B_o = B_e \times 10^{-1}$  又は  $B_o = B_e \times 10^{-2}$  と仮定し，幾何分布によりビット誤りが発生するビット位置を決める．

**A4.** 他はランダム誤り環境の仮定 A2 ~ A6 と同様．

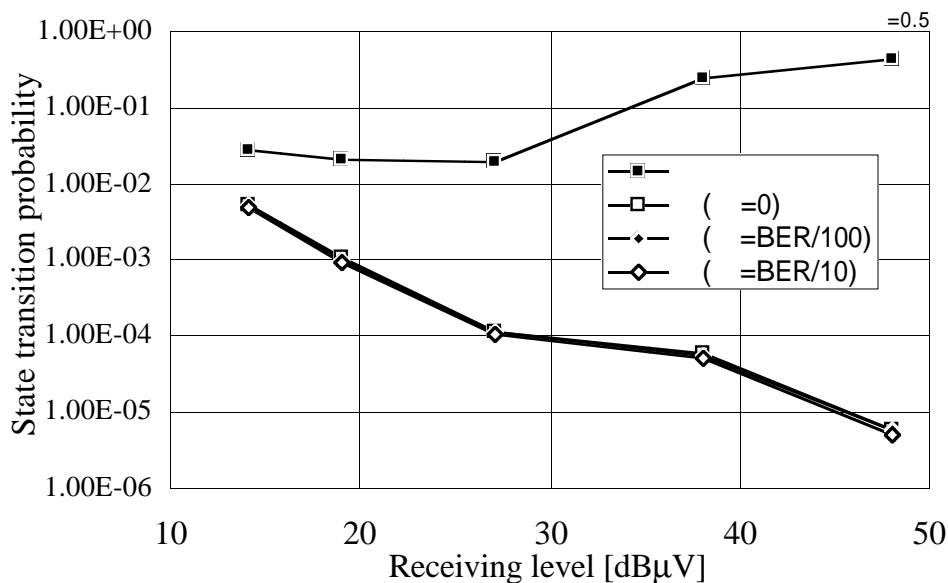


図2.4 バースト誤り環境における状態遷移確率  
**Fig. 2.4** Transition probability in burst error environment.

### 2.3.3 評価システム

図2.5に実際のビデオ情報を使用する評価システムの構成を示す。インタフェースボードは H.261で圧縮符号化されたビデオ情報からビデオフレーム先頭情報PSC (Picture Start Code)を検出するたびに、PSCを検出したFECフレーム識別番号、FECフレームにおけるPSC 検出ビット位置を送信タイムスタンプとしてワークステーションに通知する。ワークステーションは通信プロトコルやエラー環境等のシミュレーションを行い、送信タイムスタンプから求めたビデオフレームサイズをもとにビデオフレーム伝送遅延時間を計算する。そして、これを受信タイムスタンプとしてインタフェースボードに返送する。インタフェースボードは受信タイムスタンプに従い H.261復号化部にビデオ情報を与える。

### 2.3.4 ビデオソースの特性

シミュレーションで使った H.261 符号化・復号化部の各種パラメータを以下に示す。

- ・ 画像サイズ： QCIF (176 × 144 ピクセル)  
QCIF: Quarter Common Intermediate Format
- ・ 送信バッファサイズ： 6,400 ビット

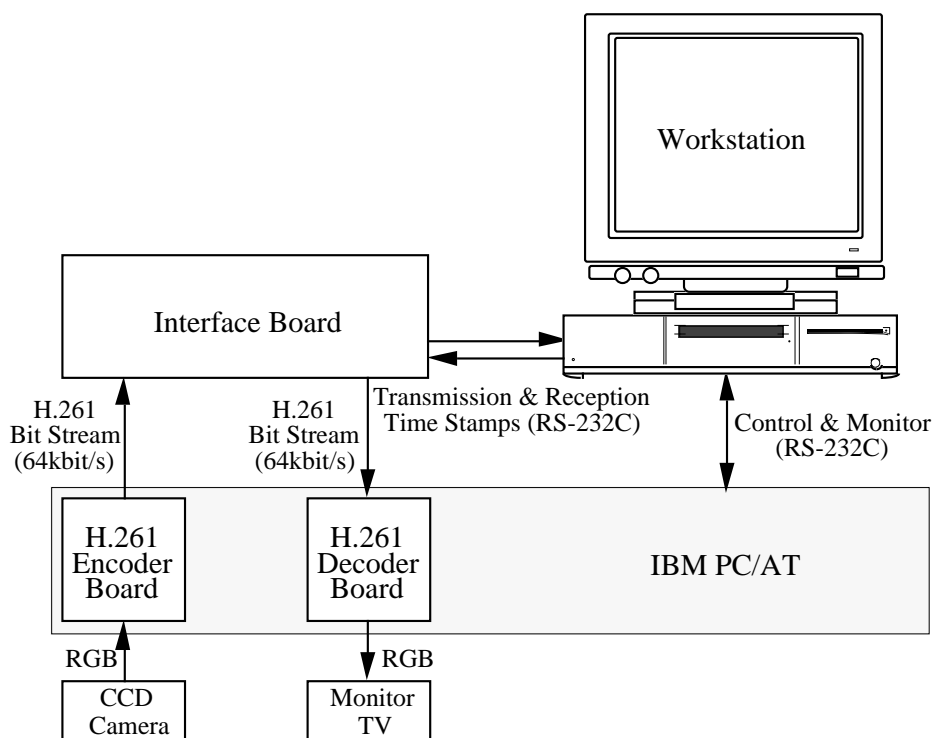


図2.5 評価システムの構成

Fig. 2.5 Block diagram of the evaluation system.

- ・量子化ステップサイズ  $Q$ :  $Q = 2 \times \{\text{int}(n/200) + 1\}$   
 $n$ は送信バッファ使用ビット数を示す。  
 $\text{int}(x)$ は $x$ の整数値を求める関数を示す。
- ・フレームスキップ条件:  $n/6,400 > 1.0$
- ・動き補償: 有り

シミュレーションでは、人物の顔のビデオソースを使用した。このフレーム長分布を図2.6に示す。また参考として、人物の顔の代わりに60 tpm (times/min)で振動するメトロノームを用いた場合を、静止したメトロノームの場合を示す。

図によれば、人物の顔と振動するメトロノームの分布は近似しており、人物の顔に適度な動きが含まれていることを示す。また、静止したメトロノームの場合、フレーム長が  $11 \times 320$  ビットにおけるピークはフレーム間予測符号化、 $30 \times 320$  ビットにおけるピークは周期的に挿入されるフレーム内符号化に対応すると考えられる。従って、人物の顔のピークが  $30 \times 320$  ビット付近であることから、人物の顔にフレーム内符号化が頻繁に適用されていると考えられる。

ここで、ビデオフレーム廃棄に伴う強制的なフレーム内符号化要求を行わないと仮定しても、既にフレーム内符号化が頻繁に適用されているため、ビデオフレーム長の分布は強制的なフレーム内符号化要求を行った場合を十分良く近似できると考えられる。よって、本シミュレーションでは、ビデオフレーム廃棄に伴う強制的なフレーム内符号化要求を省略する。

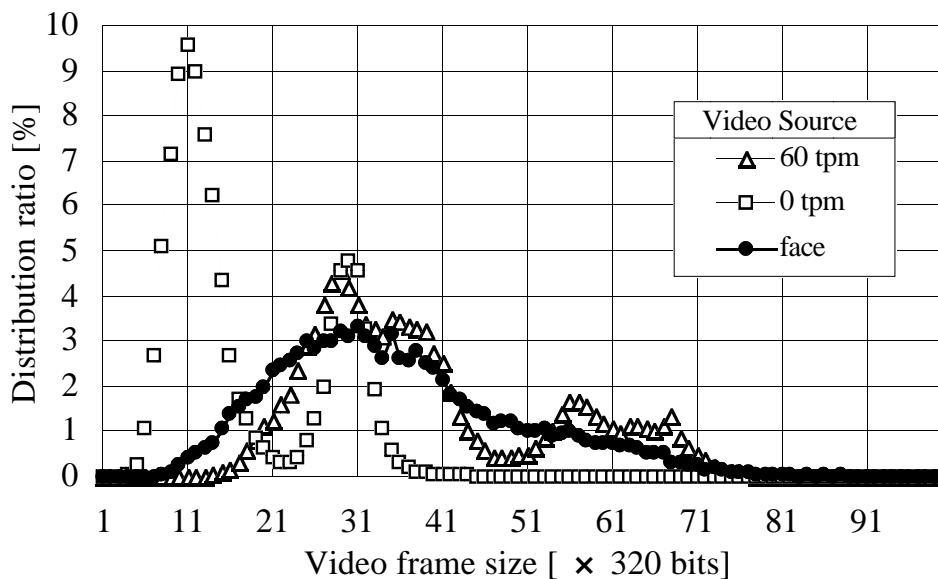


図2.6 ビデオフレーム長の分布

Fig. 2.6 Distribution of video frame size.

## 2.4 数値結果

ランダム誤りとバースト誤りの両方の環境におけるビデオ伝送の性能を、2スロットを使用したSR-ARQ方式との比較により評価する。

### 2.4.1 ランダム誤り環境

ランダム誤り環境における評価結果を以下に示す。

#### 2.4.1.1 スループット

本章では、評価尺度としてスループット、FECによるエラー訂正率を採用する。スループットは、単位時間あたりに送信が完了したビット数と定義する。但し、SR-ARQ方式を適用し、FECを行わない場合においても、伝送するビデオ情報に誤り訂正パリティビットを含ませるものとする。これは、H.261がFECの適用を標準としており、H.261を採用した有線系既存ビデオ端末との相互接続性の観点から、より適切な比較の前提条件と考えたためである。一方、FECによるエラー訂正率は、誤りが発生したスロットのうち、FECによる誤り訂正結果に誤りが残留しないことをCRCにより確認したスロットの割合と定義する。

##### (1) スループット

図2.7にスループットとBERとの関係を示す。はFEC/SR-ARQ方式によるスループットである。また比較対象として、PHSで定義されたCRCを利用し、2スロットを使用したSR-ARQ方式によるスループットをで示す。図によれば、BERが $1.0 \times 10^{-4}$ 以上で、FEC/SR-ARQ方式が高いスループットを示す。例えばBERが $2.0 \times 10^{-3}$ において、スループットは60 kbit/sであり、SR-ARQ方式より43%向上する。

##### (2) FECの効果

図2.8にFECによるエラー訂正率とBERの関係を示す。図によれば、 $2.0 \times 10^{-3}$ 以下のBERにおいて、80%以上のエラー訂正率を示しており、無線区間におけるH.261の誤り訂正手段の活用が、スループットの向上に非常に効果的であると言える。

また、 $1.0 \times 10^{-4}$ 以上のBERにおけるエラー訂正率の低下は、FECによる誤り訂正結果に誤りが残留する確率の増加を意味する。PHSではBERが $1.0 \times 10^{-4}$ より悪くなることが十分考えられる。従って、誤りに弱いビデオ情報をPHSで伝送するには、FECによる誤り訂正結果に対してCRCによる誤り検出を行い、誤りが残留したスロットの再送を行うことが不可欠と言える。

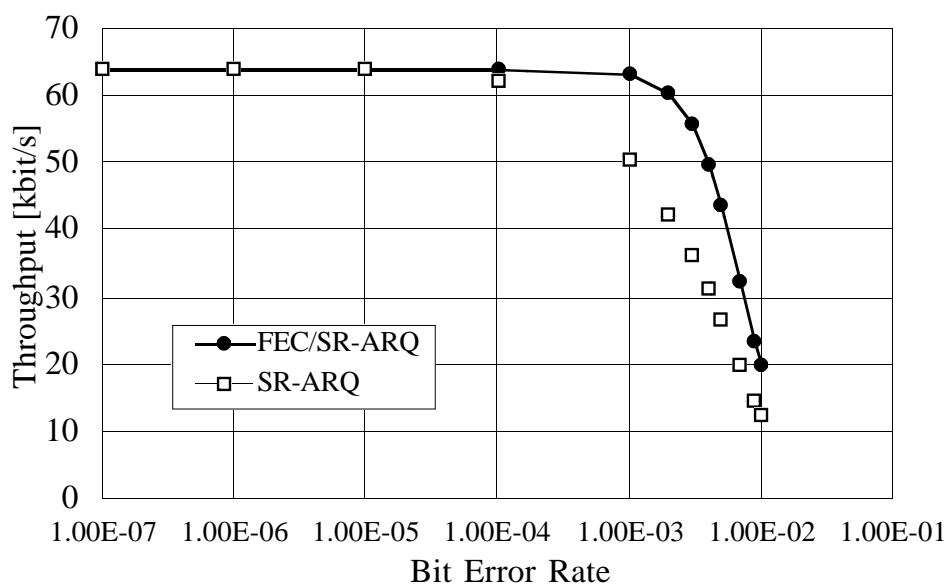


図2.7 スループット (ランダム誤り環境)  
 Fig. 2.7 Throughput in random error environment.

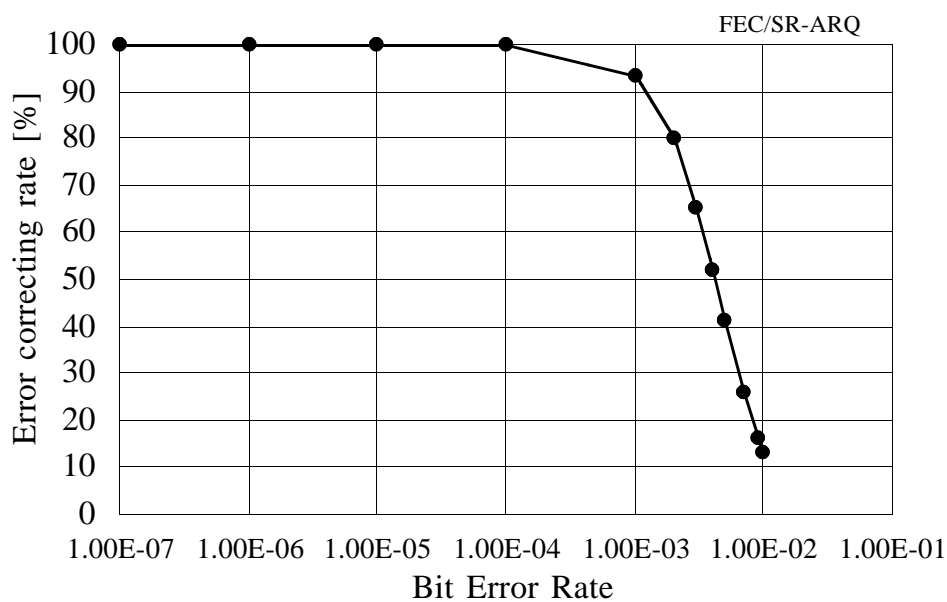


図2.8 FECによるエラー訂正率 (ランダム誤り環境)  
 Fig. 2.8 Error correcting rate of FEC in random error environment.

### 2.4.1.2 ビデオのメディア内同期

本章では、ビデオ伝送およびメディア内同期の評価尺度として、平均受信ビデオフレームレート、ビデオフレームの平均伝送遅延時間、メディア内同期ずれ時間の平均値、2乗平均値の平方根（以下、RMS: Root Mean Square と記す）、累積分布を採用した。平均受信ビデオフレームレートは、単位時間あたりに受信が完了したビデオフレーム数の平均とし、fps (frame per second) で定義する。ビデオフレームの平均伝送遅延時間は、各ビデオフレームの送信開始時刻と受信完了時刻の差からビデオフレームの情報量に相当する時間を差し引いた時間の平均値と定義する。メディア内同期ずれ時間は、各ビデオフレームの発生完了時刻と受信完了時刻との差と定義し、その平均値とRMSを求めた。また、メディア内同期ずれ時間の累積分布は、メディア内同期ずれ時間がある値以下となる確率と定義した。

#### (1) ビデオ伝送性能

図 2.9 に平均受信ビデオフレームレートと BER の関係、図 2.10 にビデオフレームの平均伝送遅延時間と BER の関係を示す。図によれば、FEC/SR-ARQ 方式（ でプロット）は SR-ARQ 方式（ でプロット）よりも単位時間あたりに多くのビデオフレームを、少ない平均伝送遅延時間で伝送できる。例えば BER が  $2.0 \times 10^{-3}$  において、平均受信ビデオフレームレートは 5.2 fps (SR-ARQ 方式の 147%)、平均伝送遅延時間は 14 ms (SR-ARQ 方式の 15%) である。

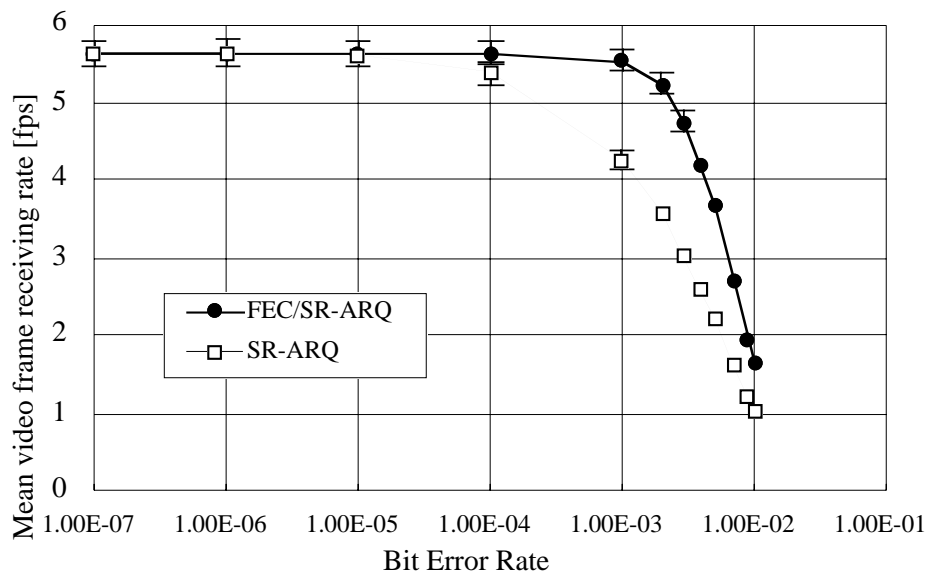


図2.9 平均受信ビデオフレームレート（ランダム誤り環境）

Fig. 2.9 Mean video frame receiving rate in random error environment.

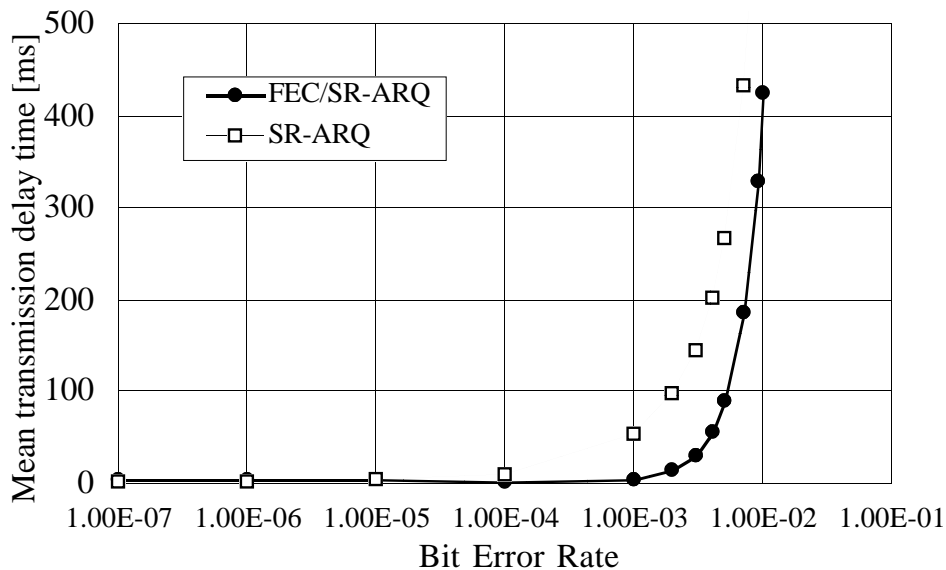


図2.10 ビデオフレームの平均伝送遅延時間（ランダム誤り環境）

Fig. 2.10 Mean transmission delay time in random error environment.

## (2) メディア内同期

ビデオのリアルタイム伝送では、伝送遅延がメディア内の同期を乱し、その累積により受信側に遅れたビデオ情報を提供してしまう。図2.11にメディア内同期ずれ時間の経過例を示す。破線はメディア内同期ずれ時間が0の理想値であり、この理想値との差がメディア内同期ずれ時間を示す。但し、最初のビデオフレームの発生完了時刻と受信完了時刻を0とする。ビデオフレーム廃棄による解像度制御を適用しなければ（でプロット）、メディア内同期ずれ時間は時間の経過と共に順次大きくなる。これは各ビデオフレームの伝送遅延が累積するためである。しかし、ビデオフレーム廃棄による解像度制御を適用すれば（でプロット）、メディア内同期ずれ時間を小さく保つことができる。このように、ビデオフレーム廃棄による解像度制御は、メディア内同期を維持するのに効果的と言える。

図2.12にビデオフレーム廃棄による解像度制御を適用した場合における、メディア内同期ずれ時間の平均値、RMSとBERの関係を示す。FEC/SR-ARQ方式（、でプロット）は、SR-ARQ方式（、でプロット）よりも同期ずれ時間の平均値が小さいだけでなく、RMSも小さく、メディア内同期が良好に改善されていると言える。例えばBERが $2.0 \times 10^{-3}$ では、平均値は115 ms（SR-ARQ方式の43%）、RMSは56 ms（SR-ARQ方式の46%）である。

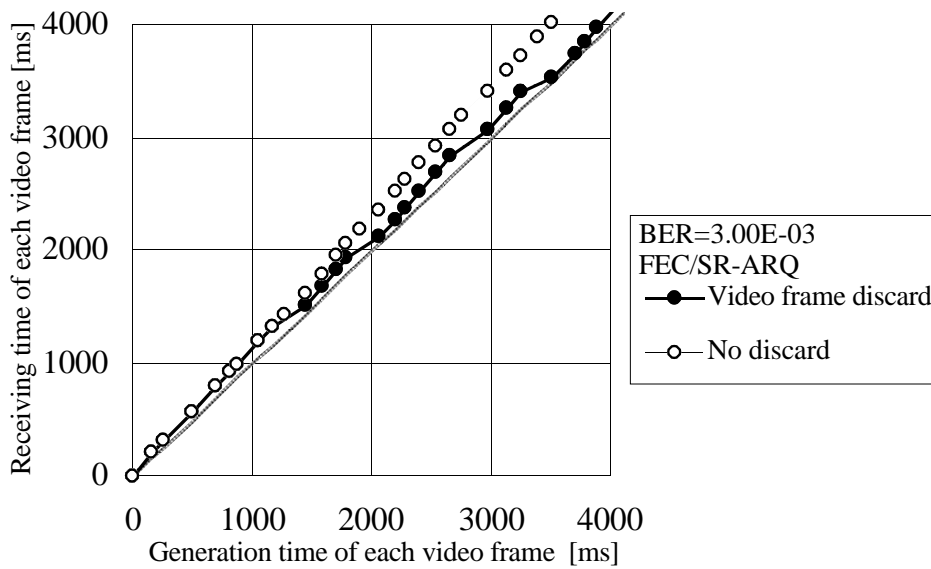


図2.11 メディア内同期ずれ時間の経過(例)

Fig. 2.11 Progress of intra-stream synchronization error.

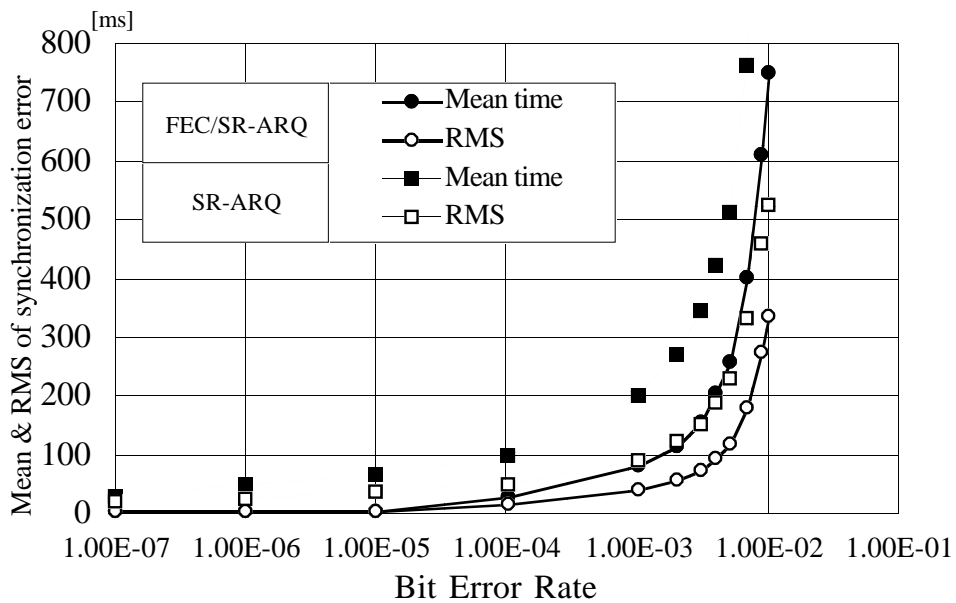


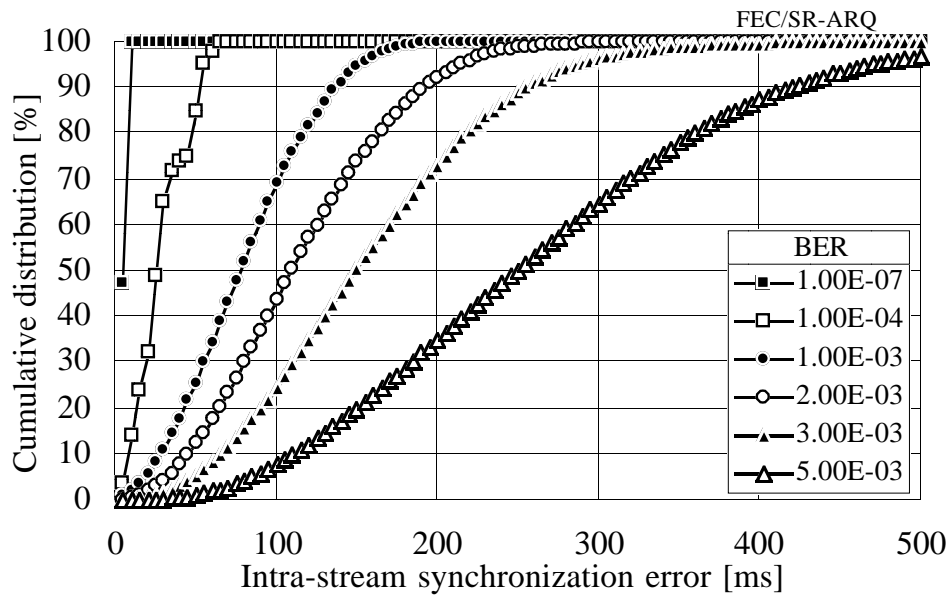
図2.12 メディア内同期ずれの平均およびRMS (ランダム誤り環境)

Fig. 2.12 Mean and RMS of intra-stream synchronization error in random error environment.

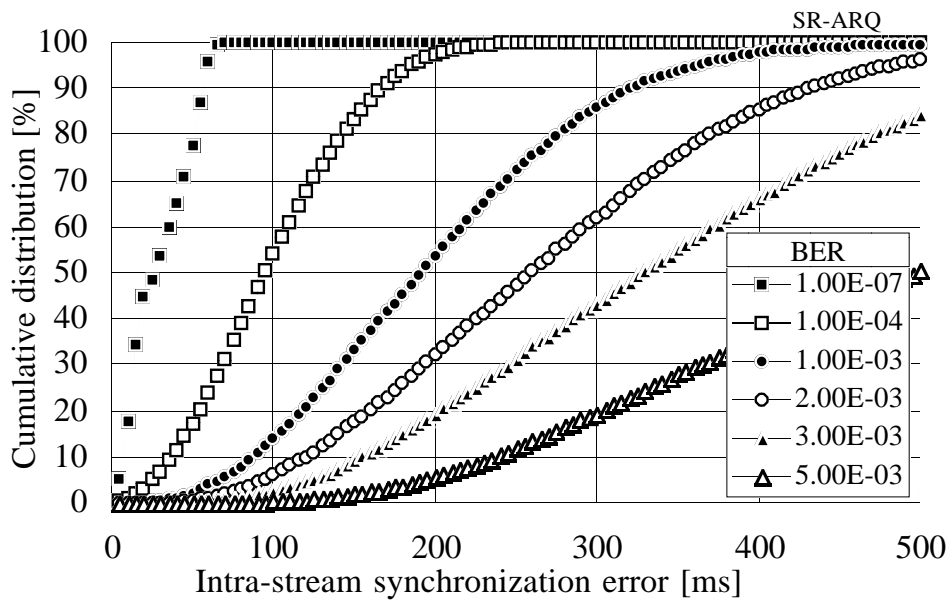


更に、図2.13(a)にFEC/SR-ARQ方式によるメディア内同期ずれ時間の累積分布とBERの関係、図2.13(b)にSR-ARQ方式によるそれを示す。文献[Ste96]によれば、ビデオと音声のメディア間同期ずれ時間が80 ms以内であればメディア間同期は最適な状態であり、160 ms以上であれば同期外れの状態であると報告している。ここでは便宜上、これらの結果がメディア内同期についても近似的に成立すると考える。そして、これらの値を用いて、メディア内同期の品質を調べる。

例えばBERが $1.0 \times 10^{-3}$ において、80 ms以内の同期ずれしか発生しないビデオフレームは、SR-ARQ方式では全体の8%しか発生しないのに対し、FEC/SR-ARQ方式では全体の52%を占める。またBERが $2 \times 10^{-3}$ において、160 ms以上の同期ずれが発生するビデオフレームは、SR-ARQ方式では全体の80%を占めるのに対し、FEC/SR-ARQ方式では全体の22%しか発生しない。すなわち、FEC/SR-ARQ方式を適用すれば、BERが $2.0 \times 10^{-3}$ 以下のランダム誤り環境において、良好なメディア内同期を維持できる。



(a) FEC/SR-ARQ



(b) SR-ARQ

図2.13 メディア内同期ずれ時間の累積分布 (ランダム誤り環境)

Fig. 2.13 Cumulative distribution of intra-stream synchronization error in random error environment.

## 2.4.2 バースト誤り環境

つぎにバースト誤り環境における評価結果を示す。

### 2.4.2.1 スループット

ランダム誤り環境ではFECがスループットの向上に大きく寄与したので，ここではまずFECの効果について考察する。

#### (1) FECの効果

図2.14にFECによるエラー訂正率とBERの関係を示す。バースト誤りのみ( $\alpha = 0$ )を与えた場合(□でプロット)，BERが $1.0 \times 10^{-4}$ 以下において80%以上の高いエラー訂正率を示すが，BERが $2.8 \times 10^{-3}$ より悪くなると9%以下になる。これは，BERが $2.8 \times 10^{-3}$ 以上では平均バースト長約40ビットのバースト誤りが多発し，バースト誤りに対する訂正能力を超えてしまうためである[Fuji94]。このようにバースト誤り環境では，特にBERが低いときにFECが効果的であると言える。また，バースト誤りと共にランダム誤りも付加したより現実的な環境では，ランダム誤りに対する訂正効果が顕著となる。例えば  $\alpha = B_e/10$  (◆でプロット)とした場合，BERが $2.8 \times 10^{-3}$ でもエラー訂正率は65%まで向上する。

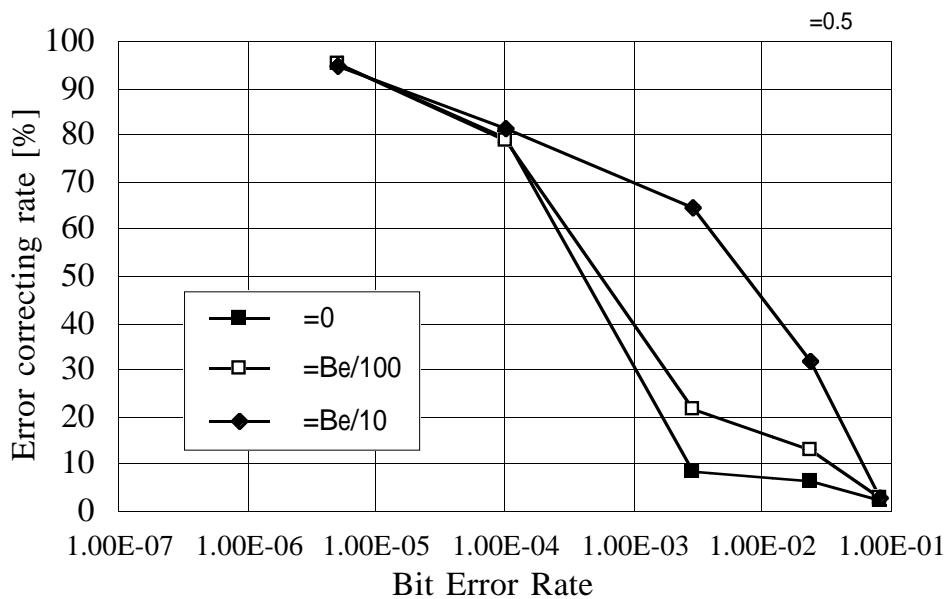


図2.14 FECによるエラー訂正率（バースト誤り環境）

Fig. 2.14 Error correcting rate of FEC in burst error environment.

つぎに，ランダム誤り環境におけるエラー訂正率(図2.8)との比較を行う．バースト誤り環境では，BERが $1.0 \times 10^{-4}$ 以下の値であっても，ランダム誤り環境のような99%以上の高いエラー訂正率は得られないことがわかる．このことは，バースト誤り環境では，低いBERであっても，FECによる誤り訂正結果に誤りが残留する確率が，ランダム誤り環境よりも高いことを意味する．従って，バースト誤り環境では，BERが $1.0 \times 10^{-4}$ 以下であっても，FECによる誤り訂正結果に対してCRCによる誤り検出を行い，誤りが残留したスロットの再送を行うことが，より効果的であると言える．

(2) スループット

図2.15にスループットとBERの関係を示す．図においてFEC/SR-ARQ方式で  $\gamma = B_e/100$ の場合を  $\gamma = B_e/10$ の場合を  $\gamma = B_e/10$ の場合を  $\gamma = B_e/100$ の場合を  $\gamma = B_e/10$ の場合を でプロットする．図によれば，比較的高いエラー訂正率を示した  $\gamma = B_e/10$ において，FEC/SR-ARQ方式とSR-ARQ方式との差が顕著であり，FECが効果的と言える．

しかし，ランダム誤り環境におけるスループット(図2.7)と比較すると，バースト誤り環境のほうがエラー訂正率が低いにもかかわらず高いスループットを示している．例えばBERが $2.8 \times 10^{-3}$ におけるスループットは，バースト誤り環境( $\gamma = B_e/10$ )で62 kbit/s，ランダム誤り環境で56 kbit/sである．

バースト誤り環境では，BERが $2.8 \times 10^{-3}$ 以上において，平均バースト長約40ビット

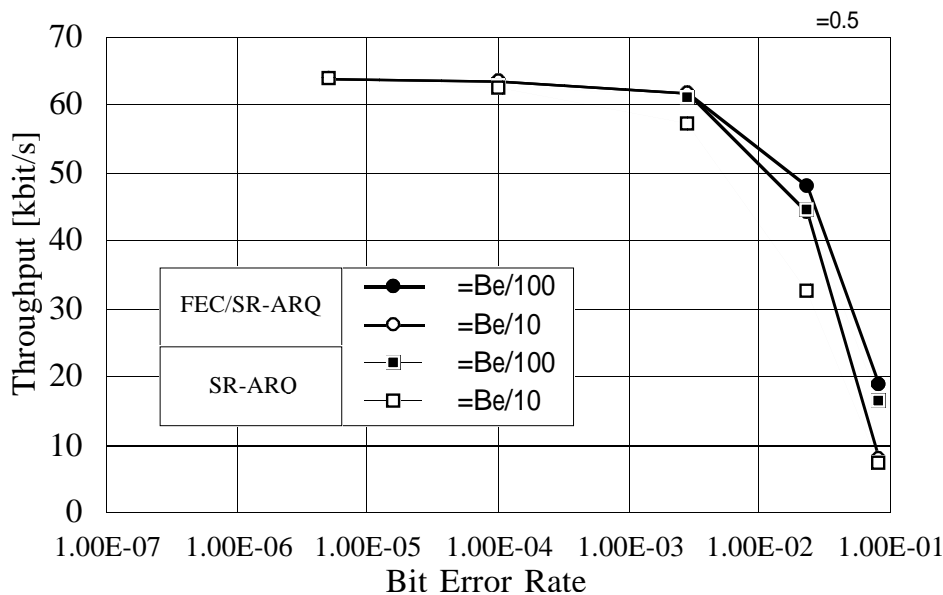


図2.15 スループット (バースト誤り環境)

Fig. 2.15 Throughput in burst error environment.

のバースト誤りが発生する。そのため、同じBERであっても、発生する誤りスロット数はランダム誤り環境よりも少なくなる。従って、FECによる誤り訂正能力を超えたバースト誤りが発生し、FECによるエラー訂正率が低くても、ランダム誤り環境よりも少ない再送スロットしか発生しない。また、一つの再送スロットで複数のビット誤りを一度に修復できる可能性も高いため、ランダム誤り環境よりも高いスループットが得られたと考える。

#### 2.4.2.2 ビデオのメディア内同期

##### (1) ビデオ伝送性能

図2.16に平均受信ビデオフレームレートとBERの関係、図2.17にビデオフレームの平均伝送遅延時間とBERの関係を示す。図によれば、バースト誤り環境においても、FEC/SR-ARQ方式(●でプロット)はSR-ARQ方式(□でプロット)よりも単位時間あたりに多くのビデオフレームを、少ない平均伝送遅延時間で伝送できる。例えばBERが $2.8 \times 10^{-3}$ において、平均受信ビデオフレームレートは5.4 fps(SR-ARQ方式の110%)、平均伝送遅延時間は9 ms(SR-ARQ方式の37%)である。

また、ランダム誤りにおける結果も考慮すると、 $2.0 \times 10^{-3}$ 以下のBERを確保すれば、平均5.2 fps以上、平均伝送遅延時間14 ms以下でビデオ伝送でき、歩行時でも良好な伝送が可能であることがわかる。

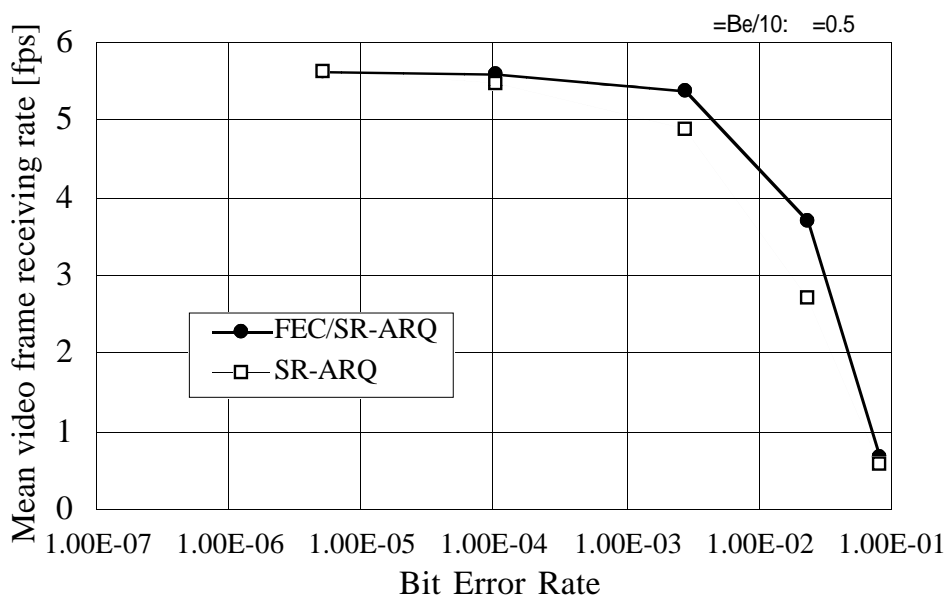


図2.16 平均受信ビデオフレームレート（バースト誤り環境）

Fig. 2.16 Mean video frame receiving rate in burst error environment.

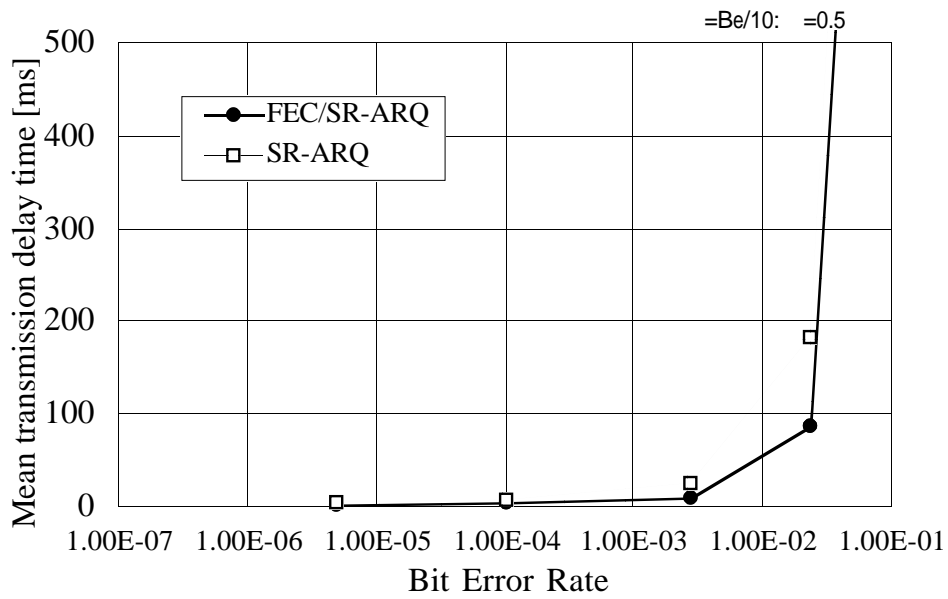


図2.17 ビデオフレームの平均伝送遅延時間（バースト誤り環境）

Fig. 2.17 Mean transmission delay time in burst error environment.

## (2) メディア内同期

図2.18にビデオフレーム廃棄による解像度制御を適用した場合のメディア内同期ずれ時間の平均値，RMSとBERの関係を示す．図によれば，バースト誤り環境においても，FEC/SR-ARQ方式（ $\square$  および  $\bullet$  でプロット）は，SR-ARQ方式（ $\square$  および  $\bullet$  でプロット）よりも同期ずれ時間の平均値が小さいだけでなく，RMSも小さいため，メディア内同期が良好に保たれていると言える．例えばBERが $2.8 \times 10^{-3}$ において，平均値は99 ms（SR-ARQ方式の70%），RMSは49 ms（SR-ARQ方式の74%）である．

また図2.19(a)にFEC/SR-ARQ方式によるメディア内同期ずれ時間の累積分布と受信レベルの関係，図2.19(b)にSR-ARQ方式によるそれを示す．図によれば，例えば受信レベル38 dB $\mu$ V（ $B_e = 1.0 \times 10^{-4}$ ）において，80 ms以内の同期ずれしか発生しないビデオフレームは，SR-ARQ方式では全体の43%しか発生しないのに対し，FEC/SR-ARQ方式では全体の66%を占める．また受信レベル27 dB $\mu$ V（ $B_e = 2.8 \times 10^{-3}$ ）において，160 ms以上の同期ずれが発生するビデオフレームは，SR-ARQ方式では全体の38%を占めるのに対し，FEC/SR-ARQ方式では全体の13%しか発生しない．すなわち，FEC/SR-ARQ方式を適用すれば，受信レベルが27 dB $\mu$ V以上のバースト誤り環境において，良好なメディア内同期を維持できる．

更に，ランダム誤り環境における結果も考慮すると， $2.0 \times 10^{-3}$ 以下のBERを確保すれば，メディア内同期ずれ時間を平均で115 ms以下におさえることができ，良好なメディア内同期を維持できる．

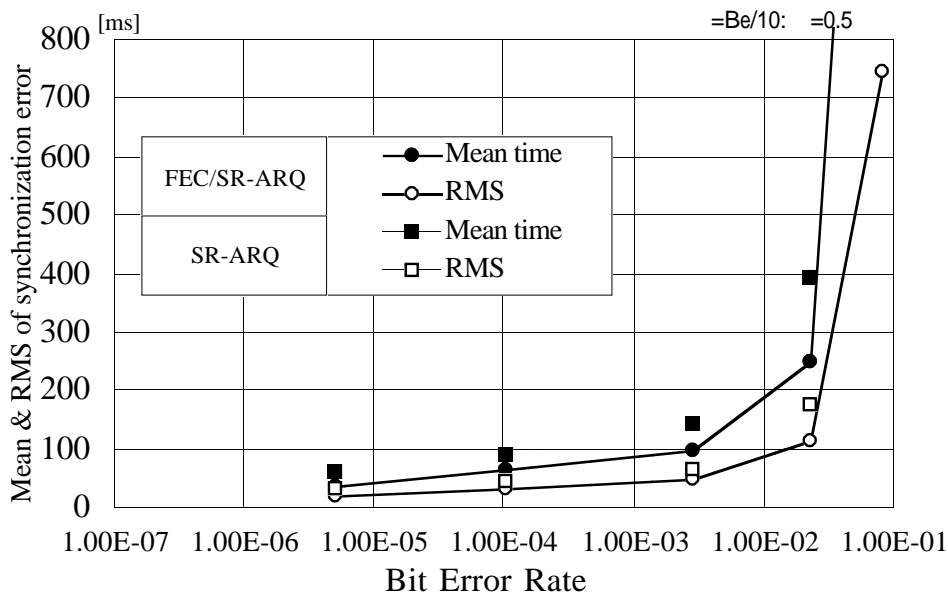
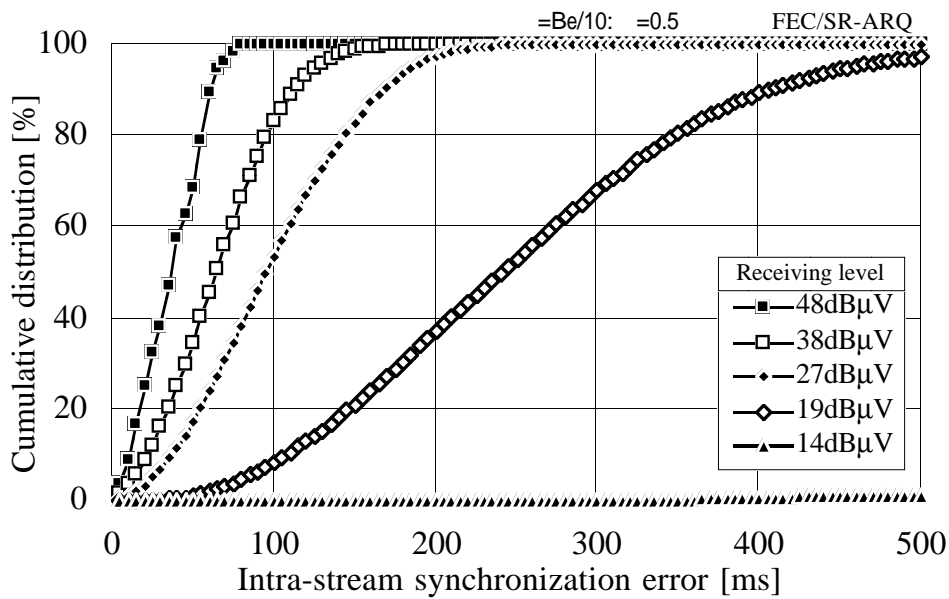
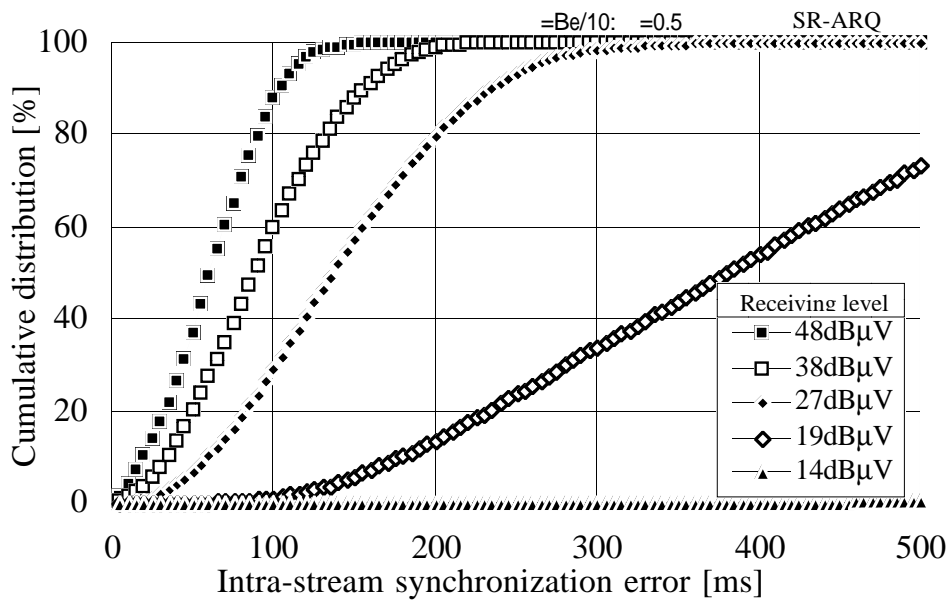


図2.18 メディア内同期ずれの平均およびRMS（バースト誤り環境）

Fig. 2.18 Mean and RMS of intra-stream synchronization error in burst error environment.



(a) FEC/SR-ARQ



(b) SR-ARQ

図2.19 メディア内同期ずれ時間の累積分布（バースト誤り環境）

Fig. 2.19 Cumulative distribution of intra-stream synchronization error in burst error environment.



## 2.5 むすび

本章では、PHSにおけるビデオ伝送プロトコルとして、無線区間の受信局側で、H.261の誤り訂正手段の能力を超えた誤りの発生を、誤り訂正結果にPHSの誤り検出手段を適用して検出し、誤りスロットを選択的に再送するFEC/SR-ARQ方式を提案した。更に、ビデオフレーム廃棄による解像度制御を適用し、ビデオ伝送における性能を評価した。

その結果、FEC/SR-ARQ方式は、SR-ARQ方式に比べて高いスループットを実現できることを確認した。特に、BERが $1.0 \times 10^{-4}$ 以上のランダム誤り環境では、H.261の誤り訂正能力を超えた誤りが発生する。更に、バースト誤り環境では、BERが $1.0 \times 10^{-4}$ 以下であっても、誤り訂正能力を超えた誤りが発生する。従って、誤りに弱いH.261のビデオ情報をPHSで伝送するには、誤り訂正能力を超えた誤りスロットを、無線区間において再送することが非常に効果的である。

更に、 $2.0 \times 10^{-3}$ 以下のBERを確保すれば、ランダム誤り環境だけでなく、歩行時を想定したバースト誤り環境においても、平均5.2 fps以上、平均伝送遅延時間14 ms以下でビデオ伝送できることがわかった。特に、ビデオフレーム廃棄による解像度制御を適用すれば、メディア内同期ずれ時間を平均115 ms以下におさえることができ、歩行時においてもメディア内同期を維持した良好なビデオ伝送が可能であることがわかった。



## 第3章

# PHSによる蓄積メディア伝送時の メディア同期性能評価

### 3.1 まえがき

ビデオ伝送を行う場合には、同時に音声も伝送する必要があることが多い。そこで本章では、PHSでビデオと音声を同時に伝送する場合を考える。すなわち、PHSの二つの通信チャネルを使用し、32kbit/s非制限デジタルベアラサービスにARQを適用してH.263圧縮ビデオ情報を、通話サービスと同様に無手順で32kbit/s ADPCM音声情報を、同時に伝送しながら再生する場合を考える。これは、PHSが既に提供している通話サービスと32kbit/s非制限デジタルベアラサービスを活用して、モバイルマルチメディア通信を実現することを想定しての選択である。本章では、まず、蓄積メディアを検討の対象とする。

PHSでH.263ビデオ情報を伝送する場合、PHSの伝送容量とほぼ等しくなるようにH.263の符号発生量を制御することが多い。そのため、誤りに弱い圧縮ビデオ情報の伝送にARQを適用すると、再送による遅延の発生が、送信側でのビデオ発生間隔と受信側でのビデオ表示間隔との同期、いわゆるメディア内同期の乱れとして問題になる。

例えばライブ伝送では、ビデオの空間的・時間的解像度制御により、通信状態に応じて符号発生量を制御すれば[Mato96]、メディア内同期を良好に維持できる。しかし、ビデオ・オン・デマンドのように蓄積された圧縮ビデオ情報を伝送しながら再生する場合、もはや空間的解像度制御は困難である。更に、不用意に時間的解像度制御を行えば、フレーム間予測符号化された画像は連続して乱れてしまう。このように、蓄積された圧縮ビデオ情報をPHSで伝送しながら再生する場合、どのようにメディア内同期を制御するかが課題となる。

ところで、蓄積されたADPCM音声情報は、通話サービスと同様に無手順で伝送されるため、音声のメディア内同期は乱れない。しかし、再送によるビデオのメディア内同期の乱れが、音声とビデオのメディア間同期の乱れとして問題になる。特にH.263では、低ビットレート化のためにフレーム内符号化フレーム(1フレーム)を周期的に挿入しておらず、1フレーム直前の複数ビデオフレームを一度に廃棄してメディア内同期を回復することはできない。すなわち、ひとたびビデオのメディア内同期が大きくなりすぎると、もはやビデオを音声に再同期できない。このように、蓄積されたビデオと音声のメディア間同期をどのように制御するかも大きな課題である。

無線通信のメディア同期に関するこれまでの研究として、文献[Tasa96b]はシェアドメディア型の無線LANによる蓄積メディア伝送において、ビデオと音声のメディア同期性能を報告している。しかし、帯域保証された回線交換型のPHSによる蓄積メディア伝送において、ビデオのメディア内同期性能、更にビデオと音声のメディア間同期性能は明らかになっていない。一方、文献[Mato96]はPHSによるビデオと音声のライブ伝送において、通信状態に適応したビデオの空間的・時間的解像度制御方式を検討している。しかし、メディア同期の検討や、蓄積メディア伝送におけるビデオの解像度制御方式の検討はなされていない。

そこで本章では、蓄積されたH.263圧縮ビデオ情報と32 kbit/s ADPCM音声情報を、それぞれPHSの一つの通信チャンネルを使用し、サーバからPHS基地局を介してPHS移動局に伝送しながら再生する場合を考える。特に、ビデオはARQで、音声は無手順で伝送する(図3.1)。このとき、ビデオや音声のメディア内同期や、両者のメディア間同期を維持するために、送信側において、通信状態により双方向予測符号化情報を廃棄するBブロック廃棄制御方式を提案する。また受信側においても、メディア内同期の一時的な乱れをバッファで吸収する出力開始遅延制御を適用する。更に、ビデオのメディア内同期の状態により、音声への影響を考慮しながら遅れたビデオに音声を再同期するスライド制御方式を提案する。

そして、ランダム誤りとバースト誤りの各環境下で、実際のH.263圧縮ビデオ情報と32 kbit/s ADPCM音声情報を使用したシミュレーションを行い、メディア同期の性能評価、および主観評価により本提案方式の有効性を示す。

本章の構成は次のとおりである。3.2節では提案方式について述べる。3.3節ではシミュレーションの仮定について述べる。3.4節では数値結果と性能評価を報告する。

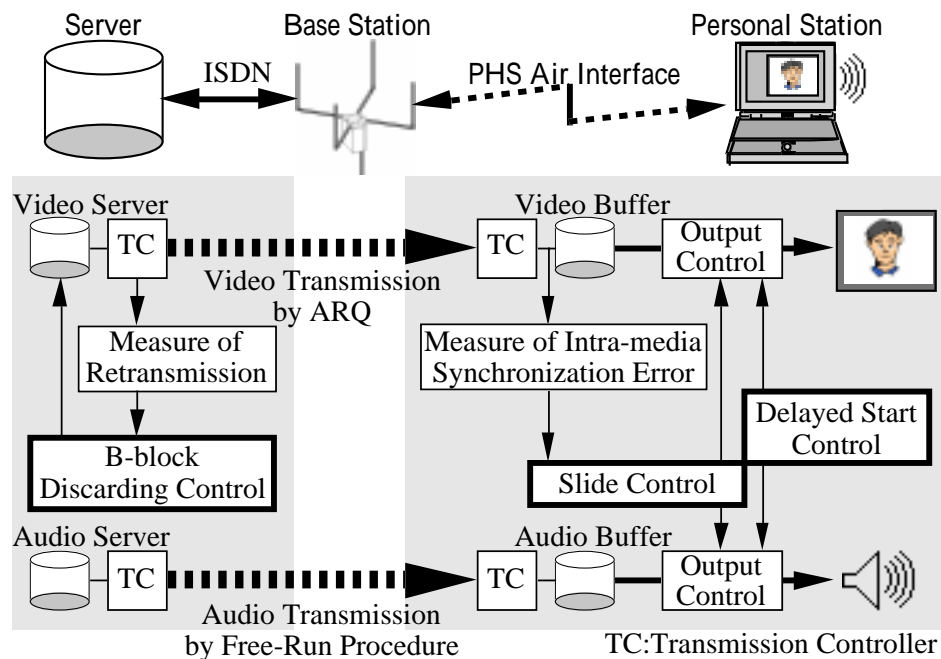


図3.1 PHS蓄積メディア伝送システム構成図

Fig. 3.1 Block diagram of the stored media transmission system for PHS.

## 3.2 メディア同期制御方式

本章では、メディア同期、すなわち、ビデオや音声のメディア内同期、および両者のメディア間同期を検討の対象とする。

ここで文献[Ishi95a]に従い、各メディアは、その出力単位であるメディアユニット(MU)から構成されているものと仮定する。特に、ビデオは1ビデオフレームを1ビデオMUとし、音声は一定の情報量をもって1音声MUを構成すると仮定する。そして、メディア発生源  $i$  における  $n$  番目のMUの発生時刻を  $T_n^{(i)}$ 、 $n$  番目と  $n+1$  番目のMUの発生間隔を  $T_{n,n+1}^{(i)} (= T_{n+1}^{(i)} - T_n^{(i)})$  と定義する。なお、以後  $i=1$  はビデオ、 $i=2$  は音声を示す。

### 3.2.1 メディア内同期

まず、メディア内同期について考える。ここで、メディア出力先におけるメディア  $i$  の  $n$  番目のMUの目標出力時刻を  $t_n^{(i)}$ 、遅延ジッタがない理想的な場合の目標出力時刻を  $x_n^{(i)}$ 、到着時刻を  $A_n^{(i)}$ 、出力時刻を  $D_n^{(i)}$ 、到着してから出力されるまでの出力待ち時間を  $\tau_n^{(i)} (= D_n^{(i)} - A_n^{(i)})$  と定義する[Ishi95a]。

更に本章では、 $D_n^{(i)}$  を  $t_n^{(i)}$  から意図的に遅らせる時間量としてスライド時間  $S_n^{(i)}$  を明示的に定義する。これは、ビデオのメディア内同期の状態に応じて、音声への影響を考慮しつつ行われるものであり、3.2.2.2のスライド制御において導入される。また、総スライド時間を  $S_n^{(i)} = S_{n-1}^{(i)} + S_n^{(i)}$  と定義する。このとき、 $t_n^{(i)}$ 、 $D_n^{(i)}$ 、およびメディア内同期ずれ時間  $\tau_n^{(i)}$  は、次式で表される。

(a) MUの目標出力時刻

$$t_1^{(i)} = A_1^{(i)} + \tau_1^{(i)}, \quad x_1^{(i)} = t_1^{(i)} \quad (n=1)$$

$$t_n^{(i)} = x_n^{(i)} + S_{n-1}^{(i)}, \quad x_n^{(i)} = x_{n-1}^{(i)} + T_{n-1,n}^{(i)} \quad (n \geq 2)$$

(b) MUの出力時刻

$$D_n^{(i)} = t_n^{(i)} + S_n^{(i)} \quad \text{if } A_n^{(i)} \geq t_n^{(i)} + S_n^{(i)} \quad (n \geq 1)$$

$$D_n^{(i)} = A_n^{(i)} \quad \text{if } t_n^{(i)} + S_n^{(i)} < A_n^{(i)} \quad (n \geq 1)$$

(c) メディア内同期ずれ時間

$$\tau_n^{(i)} = D_n^{(i)} - t_n^{(i)} \quad (n \geq 1)$$

例えば図3.2において、1番目のMUは到着時刻  $A_1^{(i)}$  から  $\tau_1^{(i)}$  経過後に出力される。 $n$  番目のMUは、到着時刻が  $A_n^{(i)} \geq t_n^{(i)}$  の場合(CASE 1)、若しくは  $t_n^{(i)} < A_n^{(i)} < t_n^{(i)} + S_n^{(i)}$  の場合(CASE 2)、時刻  $t_n^{(i)} + S_n^{(i)}$  に出力される。また  $t_n^{(i)} + S_n^{(i)} < A_n^{(i)}$  の場合(CASE 3)、時刻  $A_n^{(i)}$  に出力される。特に  $S_n^{(i)} = 0$  の場合、到着時刻が  $A_n^{(i)} \geq t_n^{(i)}$  では時刻  $t_n^{(i)}$ 、 $t_n^{(i)} < A_n^{(i)}$  では時刻  $A_n^{(i)}$  に出力される。すなわちメディア内同期制御とは、メディア内同期ずれ時間  $\tau_n^{(i)}$  が最小になるように制御することである。

なお、 $t_n^{(i)}$  は、スライド制御による変更を行う前の目標出力時刻を表していることに注意されたい。スライド制御により変更された目標出力時刻は、 $t_n^{(i)} + S_n^{(i)}$  として計算される。

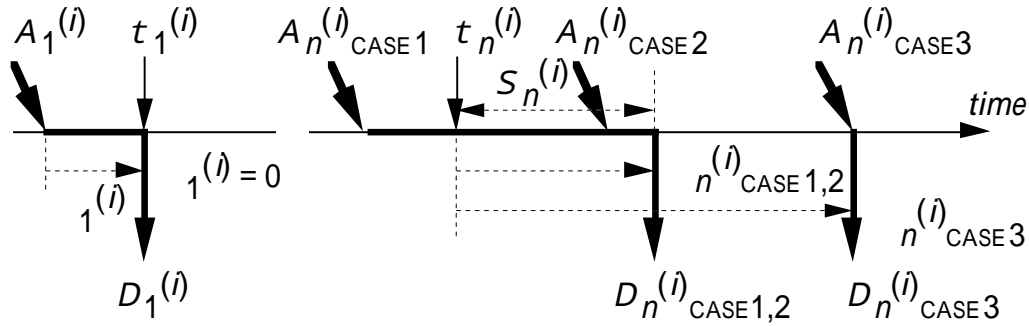


図3.2 メディア内同期ずれ

Fig. 3.2 Definition of intra-media synchronization error.

### 3.2.1.1 ビデオのメディア内同期

本章では、PHSの32 kbit/s非制限デジタルベアラサービスを利用し、H.263圧縮ビデオ情報をARQで伝送することを考える。特に、ビデオのメディア内同期を制御するために、送信側においてBブロック廃棄制御を提案すると共に、受信側において出力開始遅延制御を採用する(図3.1)。

#### (1) Bブロック廃棄制御

H.263圧縮ビデオ情報は、PHSの伝送容量とほぼ等しくなるように符号発生量を制御して生成かつ蓄積されているため、再送による遅延を回復するには、送信側において伝送すべき情報量を削減することが効果的である。

一般的に、圧縮符号化されたビデオフレームは、適用した予測符号化方式によりフレーム内符号化フレーム(Iフレーム)、フレーム間予測符号化フレーム(Pフレーム)、双方向予測符号化フレーム(Bフレーム)に分けられる。特にH.263は、PフレームとBフレームを一つのビデオフレーム(PBフレーム)として符号化する。すなわち、Bフレームに関する情報をBブロックとしてPフレームの中に埋め込み、ヘッダ情報等を削減している。

ここでビデオフレームの廃棄を考える。H.263では、符号量の大きなIフレームを周期的に挿入せず、マクロブロック単位で132回に1回以上のフレーム内符号化を規定している。従って、画像の乱れが発生しないようにIフレームの直前で一度に複数のビデオフレームを廃棄することはできない。また、PフレームやPBフレームを廃棄すれば、画像の乱れが連続したビデオフレームに現れてしまう。しかし、Bフレームに相当するBブロックは他のビデオフレームから参照されないため、廃棄しても画像は乱れない。

そこで本研究では、Bブロックを送信側で廃棄することを考える。すなわち、送信側において再送の発生回数を計測し、再送に要した情報量に相当する量のBブロックを、これ以後に送信するPBフレームから廃棄する。これをBブロック廃棄制御と呼ぶ。これにより伝送すべき情報量は削減され、メディア内同期の回復が期待できる。

## (2) 出力開始遅延制御

最初のMUの受信処理を開始した受信開始時刻から、その受信処理を完了する到着時刻  $A_1^{(i)}$  までの時間を  $a_1^{(i)}$  と定義する。このとき受信開始時刻から最初のMUの出力時刻  $D_1^{(i)}$  までの出力開始遅延時間  $S_0^{(i)}$  は次式で与えられる。

$$S_0^{(i)} = a_1^{(i)} + D_1^{(i)} - A_1^{(i)} = a_1^{(i)} + \tau_1^{(i)}$$

なお文献[Tasa96b]と同様に、再送による遅延の最大値の見積値を  $S_{1,max}^{(i)}$  と定義するならば、 $S_1^{(i)} = S_{1,max}^{(i)}$  と考えられる。

ここで、受信側におけるビデオ情報のバッファリングについて考える。容易にわかるように、 $S_0^{(i)}$  を大きく設定し、ビデオ情報のある程度バッファリングしてから出力を開始すれば、一時的なメディア内同期の乱れをバッファにより吸収できる。これを出力開始遅延制御と呼ぶ。

特に、H.263の符号発生量はPHSの伝送容量とほぼ等しくなるように制御されるため、再送が発生しなくても、各ビデオフレームサイズの大小がメディア内同期に影響を及ぼす。またPBフレームでは、先に表示するBフレームの目標出力時刻  $t_n^{(1)}$  までに、PBフレーム全体が到着 ( $A_{n+1}^{(1)} < t_n^{(1)}$ ) しなければならない。従って、出力開始遅延制御の適用は必須と考える。

### 3.2.1.2 音声のメディア内同期

本章では、PHSの通話サービスを利用し、32 kbit/s ADPCMにより符号化された音声情報を、通話と同様に無手順で伝送することを考える。従って、必ず  $A_n^{(2)} < t_n^{(2)}$  となり、常にメディア内同期は維持される。

しかし、3.2.2.2に示すスライド制御により、出力時刻  $D_n^{(2)}$  をスライド時間  $S_n^{(2)}$  だけ意図的に遅らせた場合、音声のメディア内同期は  $S_n^{(2)}$  だけ乱れる。

### 3.2.2 ビデオと音声のメディア間同期

#### 3.2.2.1 メディア間同期

つぎに、メディア間同期について考える。ここで、メディア  $i$  を構成するMUの単位時間あたりの発生数 (MU発生レート) を  $M_R^{(i)}$  と定義し、各メディアのMU発生レートは異なるが、固定値であると仮定する。このとき、メディア1と2のメディア間同期ずれ時間は、メディア1の  $n$  番目のMUの出力時刻  $D_n^{(1)}$  と、このMUの直前に発生したメディア2の  $m$  番目のMUの出力時刻  $D_m^{(2)}$  とを比較した次式で与えられる。

$$T_n^{(1-2)} = (D_n^{(1)} - D_m^{(2)}) - (T_n^{(1)} - T_m^{(2)})$$

但し、 $m = \text{int}\{(n-1) \times M_R^{(2)}/M_R^{(1)}\} + 1$ 、 $n \geq 1$

$\text{int}(x)$  は  $x$  の整数値を求める関数を示す。

### 3.2.2.2 スライド制御

ビデオを ARQ で、音声を無手順で伝送する場合、再送によるビデオのメディア内同期の乱れは、音声とビデオのメディア間同期の乱れとしても問題となる。

特に H.263 では、周期的な I フレームの挿入がないため、画像を乱さないように I フレームの直前で一度に多くのビデオフレームを廃棄することができない。従って、ひとたびメディア内同期が大きくなりすぎてしまうと、一度に多くのビデオフレームを廃棄してビデオを音声に再同期させることはできない。

そこで本章では、逆に、遅延したビデオに音声を再同期し、音声のメディア内同期を一時的に乱してでもメディア間同期を維持することを考える。すなわち、ビデオをメディア間同期の基準となるマスターメディア、音声をマスターメディアに再同期しながら出力するスレーブメディアと考える。そして、ビデオ MU 到着時のビデオのメディア内同期ずれ時間  $t_n^{(1)} (= A_n^{(1)} - t_n^{(1)})$  に応じて、目標出力時刻  $t_n^{(0)}$  をスライド時間  $S_n^{(0)}$  だけ遅らせ、遅延したビデオに音声を再同期させる。これをスライド制御と呼ぶ。この基本的な考えは、VTR (Virtual Time Rendering) アルゴリズム [Ishi95a][Tasa97a] に基づいている。

特に、スライド制御が音声に及ぼす影響を考慮し、二段階のスライド制御を適用する。本章では、これらを *gradual recovery* と *fast recovery*<sup>1</sup> と呼ぶ。gradual recovery は、音声の影響を少なくするために、目標出力時刻を少しずつ変更して徐々にメディア間同期を修復する方法である。fast recovery は、音声への影響は大きいけれども、目標出力時刻を一度に大きく変更し、早急にメディア間同期を修復する方法である。更に、この二種類の変更方法を規定するために、スライド時間  $T_j$  と、スライド制御を実行できる最小許容時間間隔  $T_{hj}$  を定義する。また、いずれのスライド制御を実行するかを決めるために、ビデオ MU 到着時の  $t_n^{(1)} (= A_n^{(1)} - t_n^{(1)})$  に対ししきい値  $T_{hj}$  を定義する。なお、 $j = 1$  は gradual recovery、 $j = 2$  は fast recovery を示す。

具体的には、まず、最初のビデオフレームの  $D_1^{(1)}$  と、最初の音声 MU の  $D_1^{(2)}$  を一致させ、ビデオと音声のメディア間同期をとる。その後、ビデオ MU 到着時の  $t_n^{(1)} (= A_n^{(1)} - t_n^{(1)})$  に応じて、以下のスライド制御を行う。

- (a)  $t_n^{(1)} = 0$  の場合：  
メディア内同期 およびメディア間同期とも維持されているため、そのまま継続する。
- (b)  $0 < t_n^{(1)} < T_{h1}$  の場合：  
B ブロック廃棄制御によるメディア内同期の回復を期待し、そのまま継続する。
- (c)  $T_{h1} < t_n^{(1)} < T_{h2}$  の場合：  
ビデオと音声の  $t_n^{(0)}$  を  $T_{h1}$  だけ後ろにスライドし、徐々にメディア間同期を修復する (gradual recovery)。但し、前回の gradual recovery の実行からの経過時間が  $T_{h1}$  以上である必要がある。なお、1 ビデオ MU に対し一回のスライド制御しか実行されず、 $S_n^{(1)} = S_m^{(2)} = T_{h1}$  となる。

<sup>1</sup> gradual recovery と fast recovery は、1 つの同期制御方式において目標出力時刻の変更程度の違いを表すものである。一方、文献 [Ishi96a] で提案された graceful recovery と quick recovery は、目標出力時刻の変更に関する二者択一の同期制御方式である。



(d)  $T_{h2}^{(1)}$  の場合 :

ビデオと音声の  $t_n^{(i)}$  を  $t_2$  ( $t_1$ ) だけ大きく後ろにスライドし、一度にメディア間同期を修復する (fast recovery) . 但し、前回の fast recovery の実行からの経過時間が  $t_2$  以上である必要がある . なお、(c) と同様に  $S_n^{(1)} = S_m^{(2)} = t_2$  となる .

このスライド制御により、音声の出力は  $S_m^{(2)}$  だけ停止し、音声のメディア内同期は乱れる . 但し、出力ずみの音声情報をスライド時間に相当する量だけバッファに残し、スライド制御時に音声を巻き戻して出力すれば、音声の中断を回避できる . 特に、gradual recovery の場合、 $t_1$  や  $t_2$  の値を適切に設定すれば、音声の繰り返しはエコーのように聞こえる . この手法は、主観評価の観点から音声の品質を改善できる .

一方、ビデオは  $S_n^{(1)}$  が  $t_n^{(1)}$  より大きければ、 $S_n^{(1)} - t_n^{(1)}$  だけビデオの出力が停止する . しかし、その間に受信したビデオ情報はバッファリングされ、メディア内同期の乱れを吸収するのに役立つ .

### 3.3 シミュレーションの仮定

#### 3.3.1 伝送制御方式の仮定

各メディアの伝送に使用する伝送制御方式に関し、以下の仮定を置く .

A1. H.263 圧縮ビデオ情報は、PHS の 32 kbit/s 非制限デジタルベアラサービスに SR-ARQ を適用して伝送する . 特に、PIAFS と同様の誤り制御方式の適用を仮定する .

A2. 32 kbit/s ADPCM 音声情報は、ビデオとは別の通信チャネルにおいて、通話サービスを利用して無手順で伝送する . 但し、メディア間同期のために、音声情報の開始位置を明確にする必要がある . また、スライド制御による受信バッファのオーバフローを回避するために、フロー制御が必要である . そこで、音声情報と識別可能な 160 bit のユニークコードを定義する . そして、音声情報を伝送しないときには、TDMA フレームの情報チャネル TCH (Traffic Channel: 160 bit) 単位でこれを送信し、受信側で読み捨てるものとする .

#### 3.3.2 通信環境の仮定

ランダム誤り環境およびバースト誤り環境におけるシミュレーションを行うにあたり、以下の仮定を置く .

A1. ビット誤りは、基地局と移動局間の無線部における情報チャネル TCH のみに発生する . ビデオサーバと基地局間の有線部におけるビット誤りは無視する .

A2. ランダム誤り環境におけるビット誤りの発生は、幾何分布に従う .

A3. バースト誤り環境として二状態マルコフ連鎖モデル (ギルバートモデル) を適用する [Luck68] . なお、バースト状態から良好状態への遷移確率  $\alpha$ 、良好状態からバースト状態への遷移確率  $\beta$  は、フェージング周波数 8 Hz (歩行時に相当) における各受信レベルとビット誤り率 (BER)、平均バースト長の測定結果から算出した [Fuji94] . また、バースト

ト状態と良好状態間の状態遷移の発生は、幾何分布に従う。

**A4.** ビデオサーバと基地局間の伝搬遅延時間、およびARQフレーミングによる処理遅延時間の合計を20 msと仮定する。また、基地局と移動局間の無線部における電波伝搬遅延は無視する。

**A5.** ACK/NACK等のARQ制御情報には誤りが発生しないものとし、また再送要求の廃棄は行わない。

### 3.3.3 蓄積メディアの仮定

シミュレーションで使用するH.263圧縮ビデオ情報とADPCM音声情報の作成に関し、以下の仮定を置く。

**A1.** H.263で規定された四つのコーディング・オプションのうち、PBフレームモードのみを適用する。

**A2.** 1ビデオフレームを1ビデオMUとする。またMUサイズ $M_s^{(1)}$ は可変長とし、MU発生レート $M_R^{(1)}$ を15 MU/sの固定値とする。これにより連続したMU間の相関が強くなり、多くのPBフレームの発生を期待できる。

**A3.** ビデオの符号発生レートを29.2 kbit/sとし、空間的解像度制御により符号発生量を制御して、H.263圧縮ビデオ情報を作成する。すなわち、符号発生レートとMU発生レート $M_R^{(2)}$ により定まるMUサイズの平均値と、ある時点までに符号化されたビデオフレームのMUサイズの平均値とを比較し、その差に応じて量子化特性を制御する。

**A4.** ビデオの発生時刻 $T_n^{(1)}$ は、符号化時に各ビデオフレームに設定された $TR_n$  (Temporal Reference)と $TRB_n$  (TR for B-picture)により、次式で与える。但し、最初のビデオフレームの $TR_1$ を0とする。

$$T_n^{(1)} = TR_n / 30 \quad (\text{I,P フレーム})$$

$$T_n^{(1)} = (TR_{n+1} - TRB_n) / 30 \quad (\text{B フレーム})$$

**A5.** 音声の各MUサイズ $M_s^{(2)}$ を3,200 bit、MU発生レート $M_R^{(2)}$ を10 MU/sの固定値とし、各MUの発生時刻 $T_n^{(2)}$ を次式で与える。

$$T_n^{(2)} = (n - 1) / M_R^{(2)} \quad (n = 1)$$

**A6.** 使用した蓄積メディアの諸元を示す。

(a)メディアソース	映画「ラビリンス」のラストシーン
(b)画像サイズ	sub-QCIF (128 × 96 ピクセル)
(c)記録時間	122.333 s
(d)総I, P, PBフレーム数	1,102 フレーム
(e)PBフレーム数	734 フレーム
(f)ビデオ情報量	3,583,656 bit
(g)Bブロック占有率	13.1% (470,748 bit)
(h)平均量子化特性	11.2

なお、量子化特性とは、各ビデオフレームに適用される量子化器のステップサイズを2で割った値である。

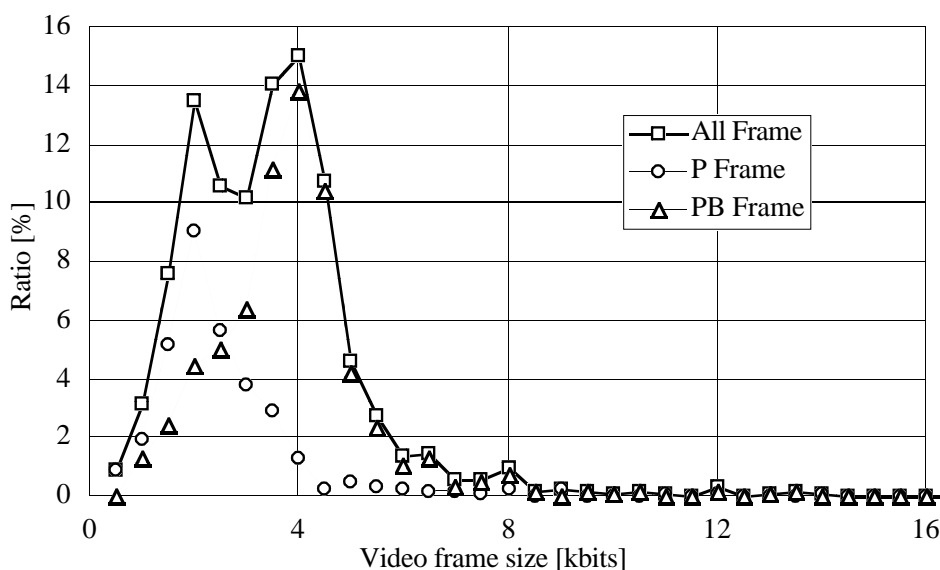


図3.3 ビデオフレーム長の分布  
 Fig. 3.3 Distribution of video frame size.

ビデオフレーム長の分布を調べると(図3.3), 2 kbitと4 kbitにピークがある(でプロット). 2 kbitのピークはPフレーム(でプロット)のピークであり, ビデオの平均MUサイズである1.947 kbitにほぼ等しい. また4 kbitのピークはPBフレーム(でプロット)のピークであり, ビデオの平均MUサイズの倍の値にほぼ等しい. なお, MUサイズの2乗平均値は2.993 (kbit)<sup>2</sup>である.

### 3.3.4 メディア同期制御の仮定

メディア同期制御に関し, 以下の仮定を置く.

**A1.** gradual recoveryのライド時間  $t_1$  を100 ms, 最小許容時間間隔  $T_1$  を1 sとする. これらの値は, スライドにより巻き戻された音声が増和感の少ないエコーに聞こえ, かつ  $T_1$  が音声のMUサイズに相当するように選んだ. また, しきい値  $T_{h1}$  は, 処理を簡単にするため, 音声のMUサイズに相当する100 msとする.

**A2.** fast recoveryのしきい値  $T_{h2}$  は2 sとする. これは, ハンドオーバー時に通信チャネルが約1 s中断することを考慮した値である. またライド時間  $t_2$  を4 s, 最小許容時間間隔  $T_2$  を60 sとする. これにより一回のfast recoveryによるビデオの停止時間  $t_2 - \frac{1}{n} (T_2 - T_{h2})$  は2 s以下になる.

**A3.** 出力開始遅延時間  $S_0^{(i)}$  は, その待ち時間をユーザが許容できるように5 sとする.

### 3.3.5 評価システム

図3.4に実際のH.263圧縮ビデオ情報とADPCM音声情報を使用する評価システムのソフトウェア構成を示す。ビデオの情報ファイルは、各ビデオフレームのリファレンス番号、ピクチャ種別、サイズ、Bブロックサイズ等を含む。ワークステーションで通信プロトコルやエラー環境等のシミュレーションを行い、ビデオの情報ファイルをもとにメディア内、およびメディア間同期ずれ時間を求め、各メディアの出力情報ファイルを生成する。更に、ADPCM音声情報にエラー環境に応じたビット誤りを付加する。そして各メディアは、これらの出力情報ファイルをもとに出力制御されて再生される。なお、H.263圧縮符号化と情報ファイルの生成、および復号化と再生には、H.263ソフトウェアエンコーダ/デコーダ[Tele96a]を一部改造して使用した。

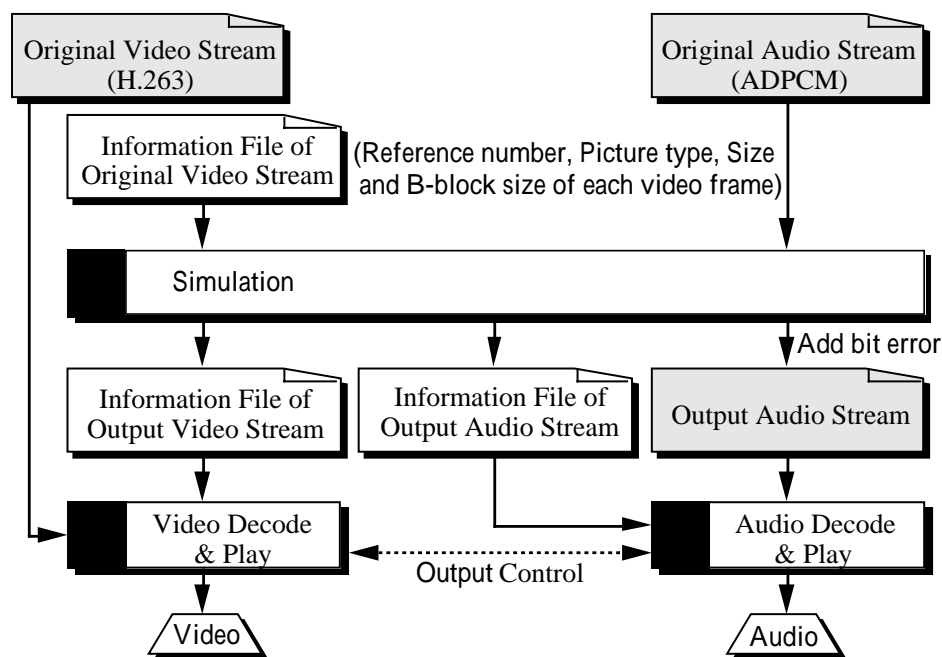


図3.4 評価システムの構成

Fig. 3.4 Block diagram of the evaluation system.

### 3.4 数値結果

ランダム誤り環境とバースト誤り環境の両方の通信環境におけるメディア同期の性能を評価する。

#### 3.4.1 ランダム誤り環境

ランダム誤り環境における評価結果を以下に示す。まず、SR-ARQによるビデオ通信チャネルのスループット特性は図3.5のとおりである。なおスループットは、単位時間あたりに送信が完了した情報量を PHS の伝送容量(32 kbit/s)で正規化したものとする。

##### (1) Bブロック廃棄制御

図3.6にビデオ情報廃棄率とBERの関係、図3.7にビデオの平均MU出力レートとBERの関係、および図3.8にビデオのメディア内同期ずれ時間  $t_n^{(1)}$ の平均値とBERの関係を示す。ビデオ情報廃棄率は、すべてのビデオ情報のうち、Bブロック廃棄制御により送信側で廃棄した情報量の割合と定義する。平均MU出力レートは、受信側で単位時間あたりに出力したMU数の平均値とし、ビデオの場合fps (frame per second)でも定義できる。また各図において、 $\square$ はBブロック廃棄制御とスライド制御を適用した場合(BD + SC: B-block Discard + Slide Control)、 $\square$ はBブロック廃棄制御のみ(BD)、 $\square$ はスライド制御のみ(SC)を適用した場合、 $\times$ はいずれも適用しない場合(NC: No Control)を示す。但し、"NC"の場合でも、目標出力時刻  $t_n^{(i)}$ と到着時刻  $A_n^{(i)}$ の関係に応じたメディア内同期制御を行うものとする。従って、いずれの場合においても  $t_n^{(1)} = 0$ となるため、メディア内同期の性能は、平均2乗誤差でなく平均値で比較を行うこととする。

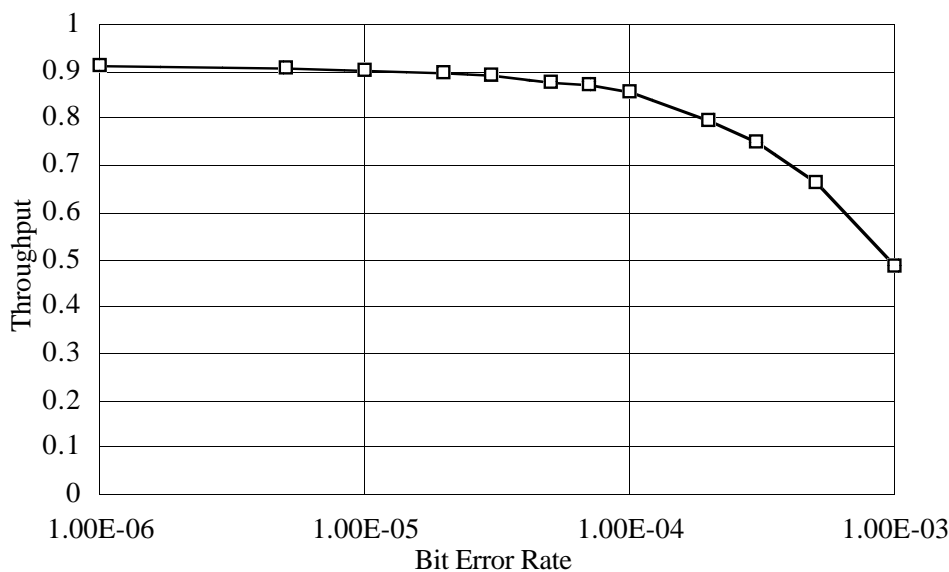


図3.5 スループット (ランダム誤り環境)

Fig. 3.5 Throughput in random error environment.

図3.6によれば、ビデオ情報廃棄率は $BER = 3.0 \times 10^{-4}$ 以上で一定になる。これは、この領域ではすべてのBブロックが廃棄されていることを意味する。すなわち、Bブロック廃棄制御の有効適用範囲は、BERが $3.0 \times 10^{-4}$ 以下と言える。

一方、ビデオの平均MU出力レート（図3.7）は、Bブロック廃棄制御の適用により低下する。例えば、 $BER = 2.0 \times 10^{-4}$ において、Bブロック廃棄制御を適用しなければ13.5 MU/s（ $\times$ でプロット）であるが、Bブロック廃棄制御を適用すれば9.5 MU/s（ $\square$ でプロット）と30%削減される。しかし、ほとんどのBブロックを廃棄しても9.5 MU/sを確保できるため、主観評価においても比較的滑らかなビデオ表示に感じられた。

更に、ビデオのメディア内同期ずれ時間 $\tau_n^{(1)}$ の平均値（図3.8）は、Bブロック廃棄制御の適用により小さく制御できる。例えば、“NC”（ $\times$ でプロット）の場合、BERが $1.0 \times 10^{-4}$ において $\tau_n^{(1)}$ は平均2.6 sである。しかし、Bブロック廃棄制御を適用（ $\square$ でプロット）すれば、BERが $2.0 \times 10^{-4}$ 以下において $\tau_n^{(1)}$ を0にできる。従って、Bブロック廃棄制御は、ビデオのメディア内同期を維持するのに、非常に効果的である。一方、スライド制御を適用すれば（ $\triangle$ でプロット）、メディア内同期は更に改善される。これは、目標出力時刻を後ろにスライドすることで、 $\tau_n^{(1)}$ が小さくなるためである。

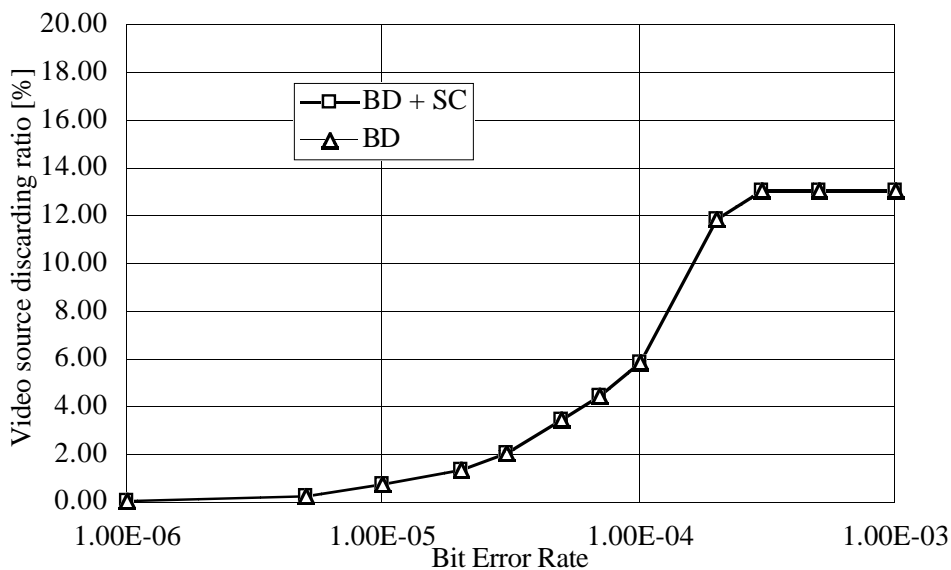


図3.6 ビデオ情報廃棄率

Fig. 3.6 Video source discarding ratio.

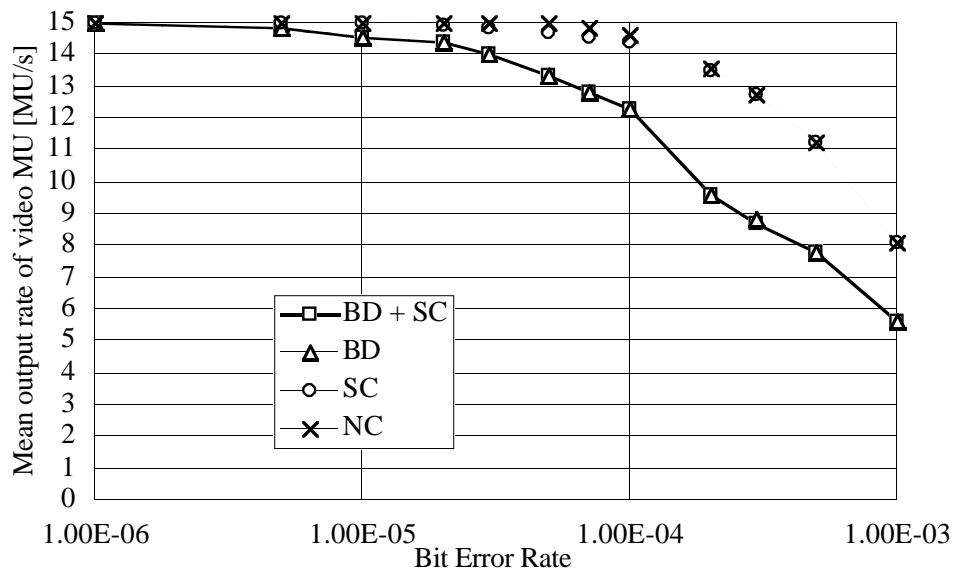


図3.7 ビデオの平均MU出力レート（ランダム誤り環境）  
**Fig. 3.7** Mean output rate of video MU in random error environment.

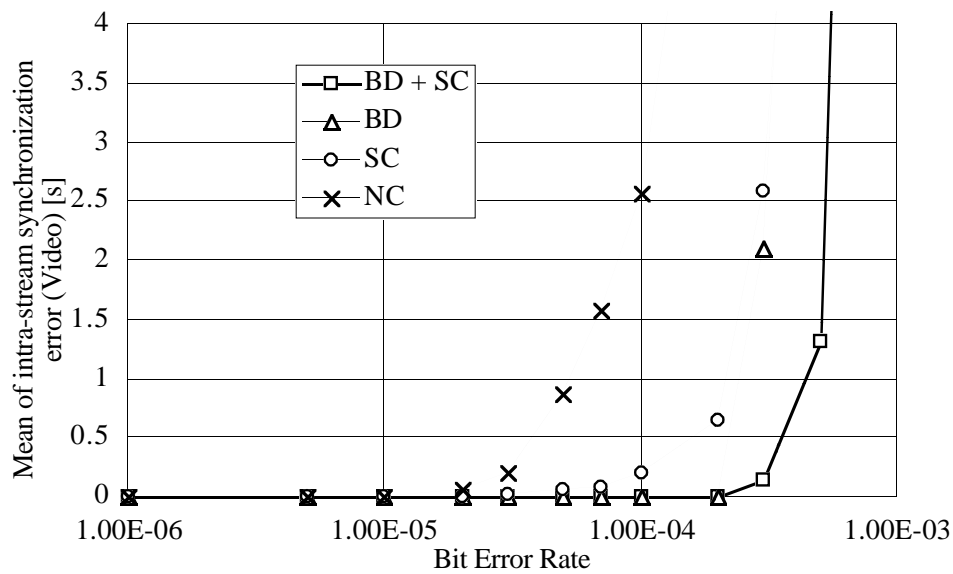


図3.8 ビデオの平均メディア内同期ずれ時間（ランダム誤り環境）  
**Fig. 3.8** Mean of  $\mu_n^{(1)}$  in random error environment.

(2) スライド制御

図3.9に目標出力時刻の総スライド時間 $S_n$ およびビデオの再生増加時間とBERの関係を示す。ビデオの再生増加時間は、ビデオの再生時間とビデオソース時間の差と定義する。なお、図中のシンボル( , )に付した数字は、ビデオのメディア内同期ずれ時間 $n^{(1)}$ がしきい値 $T_{h2}$ (= 2 s)を超えたために発生したスライド制御の回数を示す。

まず、総スライド時間 $S_n$ について考える。スライド制御だけを適用( でプロット)した場合、BERが $1.0 \times 10^{-5}$ 以上で目標出力時刻のスライドが発生する。これは、スライド制御だけでは、 $n^{(1)}$ が頻繁にしきい値 $T_{h1}$ (= 100 ms)を超えてしまうためである。一方、Bブロック廃棄制御とスライド制御を適用( でプロット)した場合、BERが $2.0 \times 10^{-4}$ 以下ではBブロック廃棄制御により $n^{(1)}$ が0となるため、スライド制御も発生しない。

つぎに、総スライド時間 $S_n$ とビデオの再生増加時間とを比較して考える。再生増加時間( , でプロット)が総スライド時間 $S_n$ ( , でプロット)を超えることは、スライド制御の能力を超えたメディア内同期ずれの発生を意味する。従って、スライド制御の有効適用範囲は、Bブロック廃棄制御とスライド制御を適用した場合( , でプロット)、BERが $2.0 \times 10^{-4} \sim 5.0 \times 10^{-4}$ と言える。

更に、どのスライド条件が適用されたかについて調べる。例えば、Bブロック廃棄制御とスライド制御を適用した場合( でプロット)、BER =  $3.0 \times 10^{-4}$ における総スライド時間4.4 sの内訳は、すべて gradual recovery ( $T_{h1} = 100$  ms,  $\tau_1 = 100$  ms,  $\tau_2 = 1$  s) によるスライドである。すなわち、1秒間に100 msの割合で音声を巻き戻すことが44回発

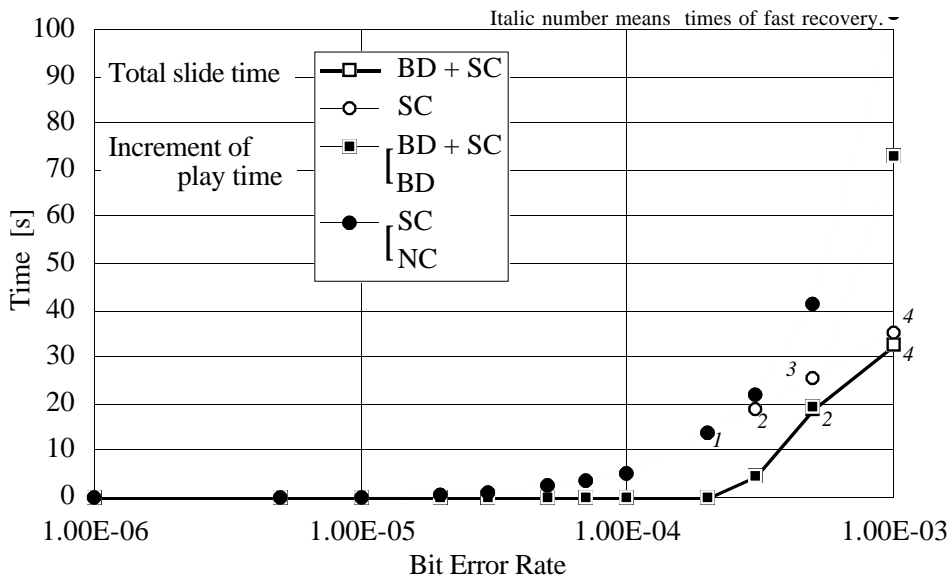


図3.9 総スライド時間と再生増加時間

Fig. 3.9 Total slide time & increment of play time.



生している．この音声を主観評価すると，エコーがかかったように聞こえるものの大きな違和感はない．従って， $\tau_1 = 100 \text{ ms}$ ， $\tau_2 = 1 \text{ s}$ は十分適切な値と言える．

また， $\text{BER} = 5.0 \times 10^{-4}$ における総スライド時間  $18.9 \text{ s}$ のうち，fast recovery ( $T_{h2} = 2 \text{ s}$ ， $\tau_2 = 4 \text{ s}$ ， $\tau_1 = 60 \text{ s}$ )によるスライドが2回発生している．すなわち，4秒間だけ音声を巻き戻すことが2回発生している．この音声を主観評価すると，音声が無断で巻き戻されるために違和感を感じるものの，音声の中断がなく良好である．

ここで，スライド制御が音声に及ぼす影響を，音声のメディア内同期ずれ時間  $\tau_n^{(2)}$ を用いて調べる．図3.10に  $\tau_n^{(2)}$ の平均値とBERの関係を示す．これによれば，スライド制御を適用した場合(□，○でプロット)，音声のメディア内同期ずれが発生する．例えば，Bブロック廃棄制御とスライド制御を適用した場合(□でプロット)， $\text{BER} = 5.0 \times 10^{-4}$ における  $\tau_n^{(2)}$ は平均  $15 \text{ ms}$ である．しかしこの値は，同じ通信環境におけるビデオのメディア内同期ずれ時間  $\tau_n^{(1)}$ (平均  $1.32 \text{ s}$ )と比較して十分小さな値である．従って，音声とビデオのメディア間同期ずれ  $\tau_n^{(1-2)}$ の平均値は， $\tau_n^{(1)}$ の平均値と極めて近くなる．図3.11に  $\tau_n^{(1-2)}$ の平均値とBERの関係を示す．

文献[Stein96]によれば， $\tau_n^{(1-2)}$ が  $80 \text{ ms}$ 以内であればメディア間同期は最適な状態であり， $160 \text{ ms}$ 以上であれば同期外れの状態である．この値を用いてメディア間同期を評価すると，Bブロック廃棄制御とスライド制御を適用すれば(□でプロット)，BERが  $3.0 \times 10^{-4}$ 以下の通信環境で， $\tau_n^{(1-2)}$ が平均  $139 \text{ ms}$ 以下のほぼ良好なメディア間同期を維持できる．すなわち，スライド制御は音声のメディア内同期を乱すものの，ビデオと音声のメディア間同期を維持するのに非常に有効であると言える．なお，このときの  $\tau_n^{(1)}$ は平均  $140 \text{ ms}$ 以下， $\tau_n^{(2)}$ は平均  $4 \text{ ms}$ 以下である．

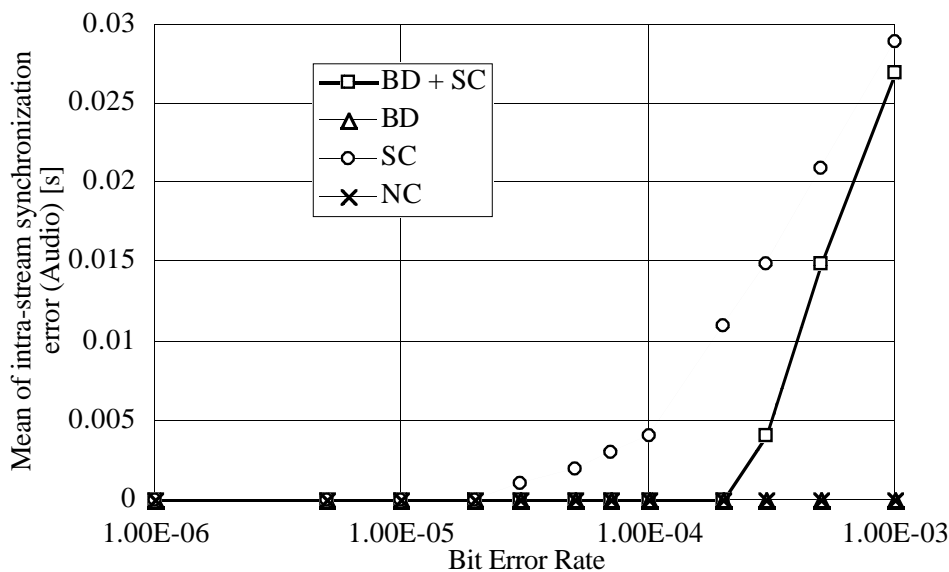


図3.10 音声の平均メディア内同期ずれ時間（ランダム誤り環境）

Fig. 3.10 Mean of  $\tau_n^{(2)}$  in random error environment.

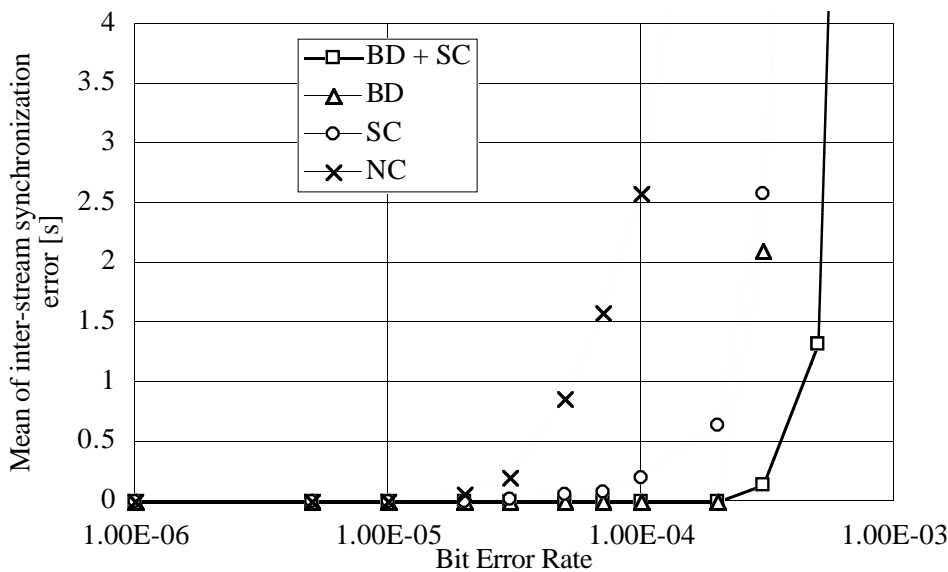


図3.11 平均メディア間同期ずれ時間（ランダム誤り環境）

Fig. 3.11 Mean of  $\tau_n^{(1-2)}$  in random error environment.

### (3) 出力開始遅延制御

スライド制御と出力開始遅延制御の実行時にバッファリングされたビデオ情報は、ビデオのメディア内同期の乱れを吸収するのに役立つ。従って、出力開始遅延時間  $S_0$  と総スライド時間  $S_n$  の和 ( $S_0 + S_n$ ) は、ビデオのメディア内同期の状態を示す評価尺度として利用できる。なお  $S_0 + S_n$  は、文献[Tasa96b]における  $\hat{\tau}_{max}$  に相当する。

図3.12にBブロック廃棄制御とスライド制御を適用した場合における  $S_0 + S_n$  の時間的变化を示す。例えば  $BER = 5.0 \times 10^{-4}$ 、 $S_0 = 10$  s (でプロット) において、 $S_0 + S_n$  が変化しない場合は、ビデオ情報のバッファリングとBブロック廃棄制御により、メディア内同期の乱れを吸収している状態である。また、 $S_0 + S_n$  のなだらかな増加は、しきい値  $T_{h1}$  ( $= 100$  ms) を超えるメディア内同期ずれが発生し、gradual recovery によるスライドが発生している状態である。更に  $S_0 + S_n$  の急激な増加は、メディア内同期ずれ時間がしきい値  $T_{h2}$  ( $= 2$  s) を超え、fast recovery によるスライドが発生した状態である。

ここで、異なる  $S_0$  ( $= 3, 5, 10$  s) における  $S_0 + S_n$  の時間的变化を比較してみる。例えば、しきい値  $T_{h1}$  のスライドしか発生しない  $BER = 3.0 \times 10^{-4}$  ( , , でプロット) において、更に、しきい値  $T_{h2}$  のスライドも発生する  $BER = 5.0 \times 10^{-4}$  ( , , でプロット) においても、 $S_0$  の値にかかわらず、 $S_0 + S_n$  はほぼ同じ値に収束する。すなわち、 $S_0$  の値を小さく設定しても、 $S_0$  の値を大きくした場合と同様の効果をスライド制御によって期待できる。従って、スライド制御の適用を許容するならば、 $S_0$  は大まかに設定しておけば十分である。なお、文献[Tasa96b]においても同様の結論を得ている。

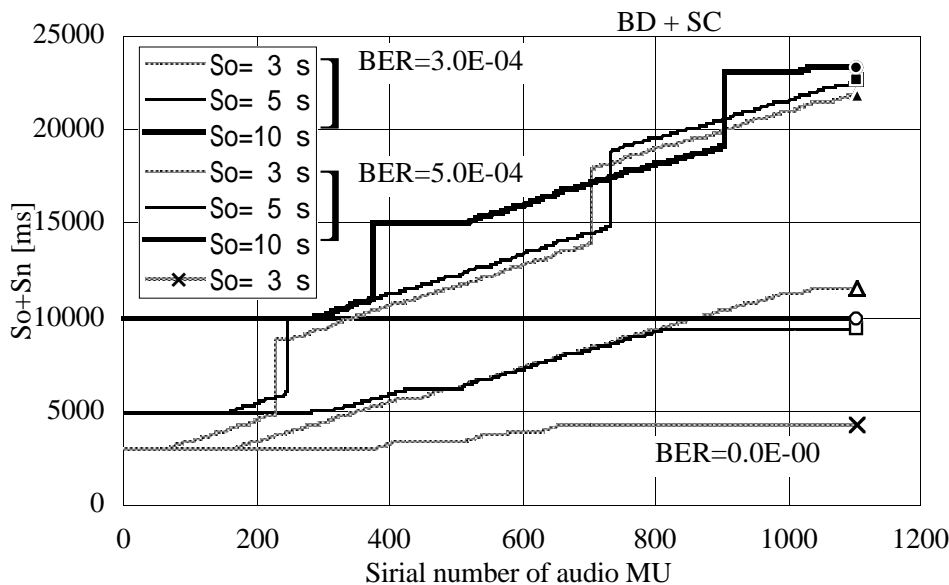


図3.12 出力開始遅延時間 $S_0$  + 総スライド時間 $S_n$ の経過

Fig. 3.12 Progress of  $S_0 + S_n$ .

一方， $BER = 0.0$ （ $\times$ でプロット）であってもスライド制御が発生している．これは，ビデオのMUサイズの2乗平均値が $2.993 \text{ (kbit)}^2$ と大きく，またMUサイズの大きなMUが連続して発生したために，しきい値 $T_{th}$ を超えるビデオのメディア内同期ずれが発生したものと考える．従って， $BER = 0.0$ においてスライド制御が実行されないようにするには， $S_0$ は $4.6 \text{ s}$ 以上に設定する必要がある．

更に，Pフレームの連続発生回数の累積分布を（図3.13）を見てみると，連続して6回（ $0.4 \text{ s}$ 期間）以上のPフレームが発生する割合は約20%に達する．特に，最大32回（ $2.133 \text{ s}$ 期間）連続してPフレームが発生する場合もある．これは，変化の大きな動きのあるビデオでは，二つのPフレームとして符号化するほうが符号量を小さくでき，PBフレームが生成されないためである．従って，Bブロック廃棄制御を適用しても，最大 $2.133 \text{ s}$ の間，Bブロックを廃棄できない場合があり，これを補うのに十分な $S_0$ を設定する必要がある．

このようにメディア同期の観点からは，出力開始遅延時間 $S_0$ を大きくしたほうが望ましい．しかし， $S_0$ は通信開始時の待ち時間となるため，ユーザにとって小さいほうが望ましい．従って $S_0$ は， $5 \sim 10 \text{ s}$ が適当と考える．

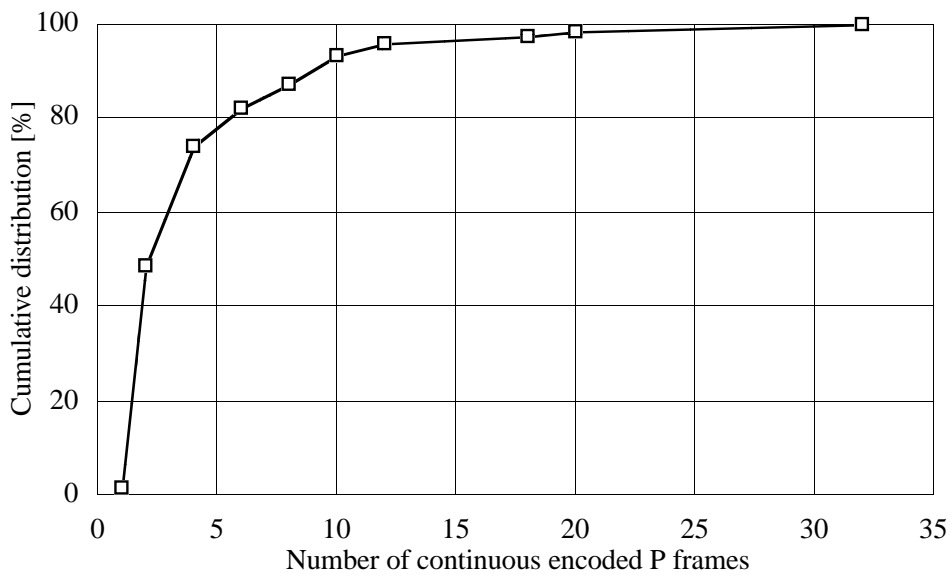


図3.13 Pフレーム連続発生回数の累積分布

Fig. 3.13 Cumulative distribution of continuous encoded P frames.

### 3.4.2 バースト誤り環境

つぎに，バースト誤り環境における評価結果を示す．まず，SR-ARQによるビデオ通信チャンネルのスループット特性は図3.14のとおりである．

図3.15にビデオのメディア内同期ずれ時間  $t_n^{(1)}$ の平均値，図3.16にビデオの平均MU出力レート，図3.17に音声のメディア内同期ずれ時間  $t_n^{(2)}$ の平均値，図3.18にビデオと音声のメディア間同期ずれ時間  $t_n^{(1-2)}$ の平均値を，受信レベルとの関係で示す．

ビデオのメディア内同期ずれ(図3.15)は，Bブロック廃棄制御の適用により，バースト誤り環境においても小さく制御できる．例えば，"NC"(×でプロット)の場合，受信レベルが27 dBμVにおいて  $t_n^{(1)}$ は平均3.9 sである．しかし，Bブロック廃棄制御を適用(○でプロット)すれば，受信レベルが27 dBμV以上において  $t_n^{(1)}$ を0にできる．またこのとき，Bブロックを廃棄しても11.2 MU/s以上の平均MU出力レート(図3.16: ○でプロット)を確保できるため，主観評価においても滑らかなビデオ表示に感じられた．

一方，音声のメディア内同期ずれは，Bブロック廃棄制御とスライド制御を適用(図3.17: ○でプロット)すれば，受信レベルが27 dBμVにおいてビデオのメディア内同期ずれが発生しないため，スライド制御が実行されず，音声のメディア内同期ずれも発生しない．従って，このとき，メディア間同期ずれ(図3.18: ○でプロット)も発生せず，良好なメディア同期を維持できる．すなわち，バースト誤り環境においても，特に，Bブロック廃棄制御を適用することがメディア同期の維持に非常に効果的であると言える．

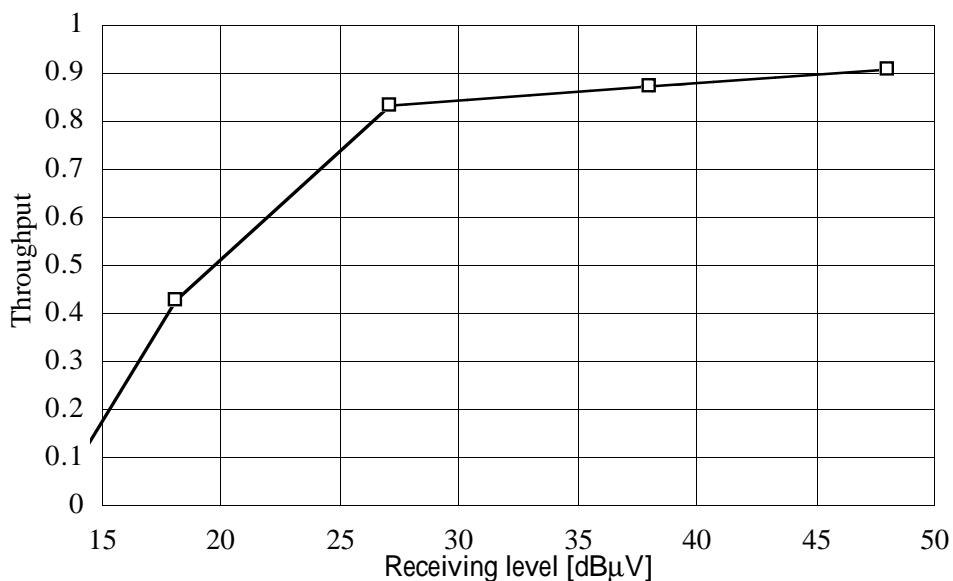


図3.14 スループット (バースト誤り環境)

Fig. 3.14 Throughput in burst error environment.

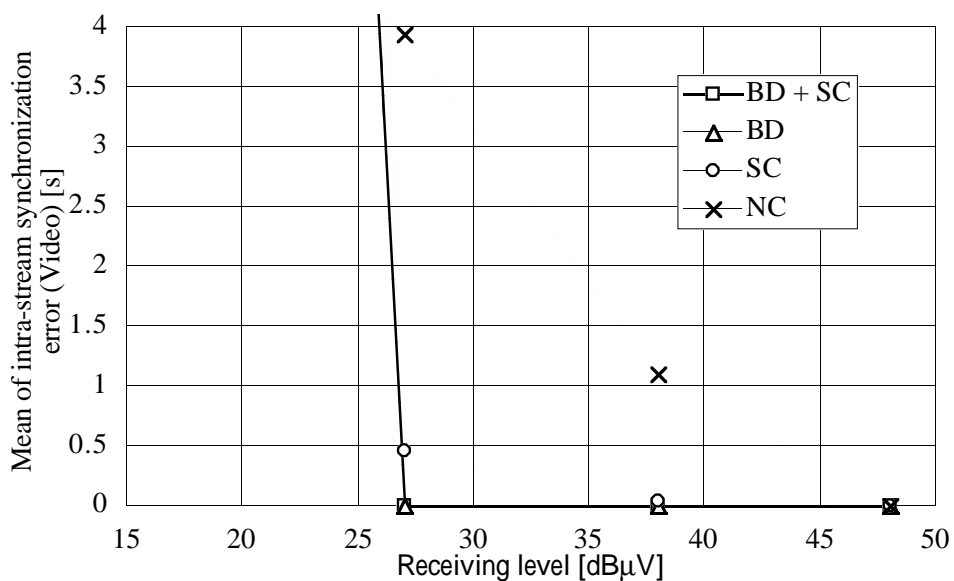


図3.15 ビデオの平均メディア内同期ずれ時間（バースト誤り環境）

Fig. 3.15 Mean of  $\tau_n^{(1)}$  in burst error environment.

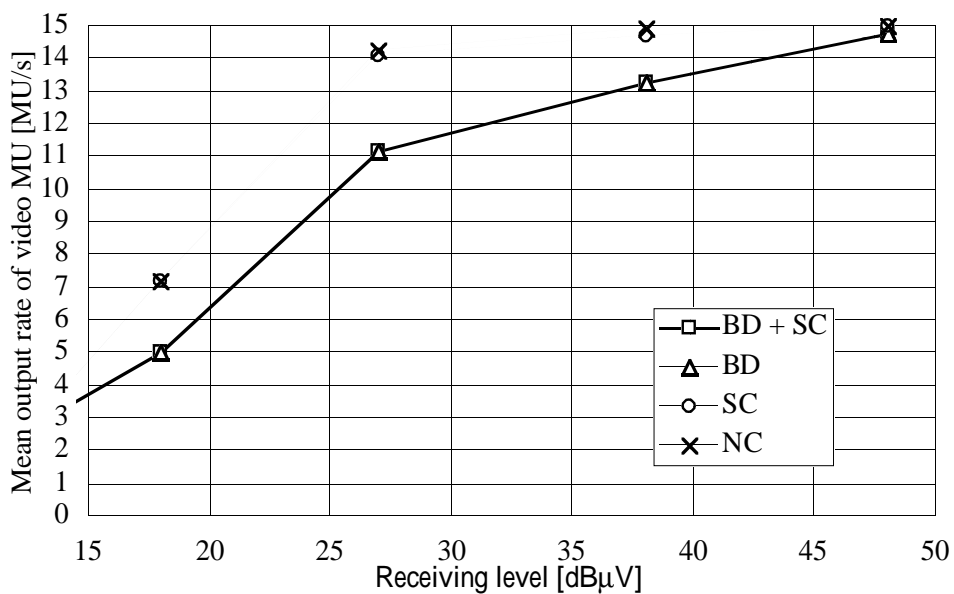


図3.16 ビデオの平均MU出力レート（バースト誤り環境）

Fig. 3.16 Mean output rate of video MU in burst error environment.

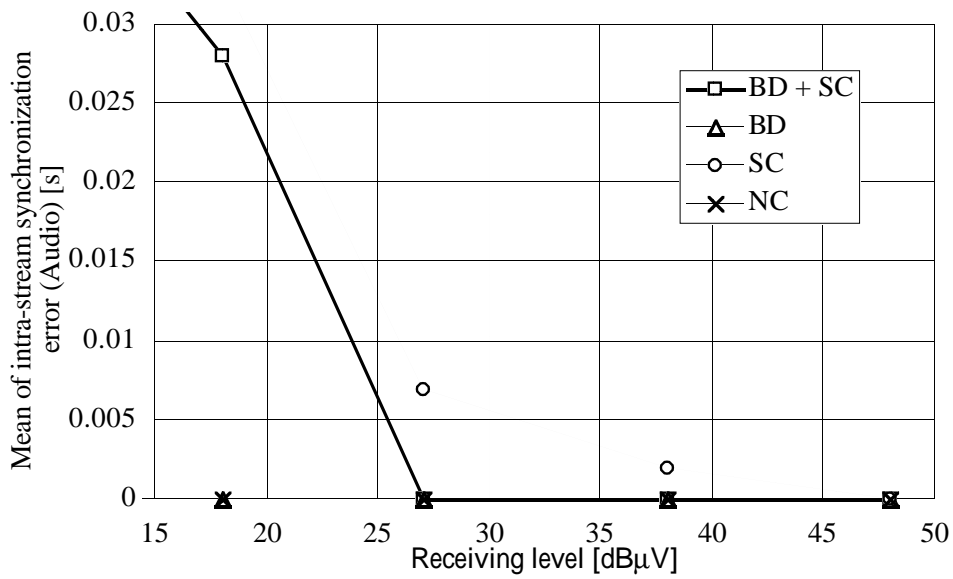


図3.17 音声の平均メディア内同期ずれ時間（バースト誤り環境）

Fig. 3.17 Mean of  $\tau_n^{(2)}$  in burst error environment.

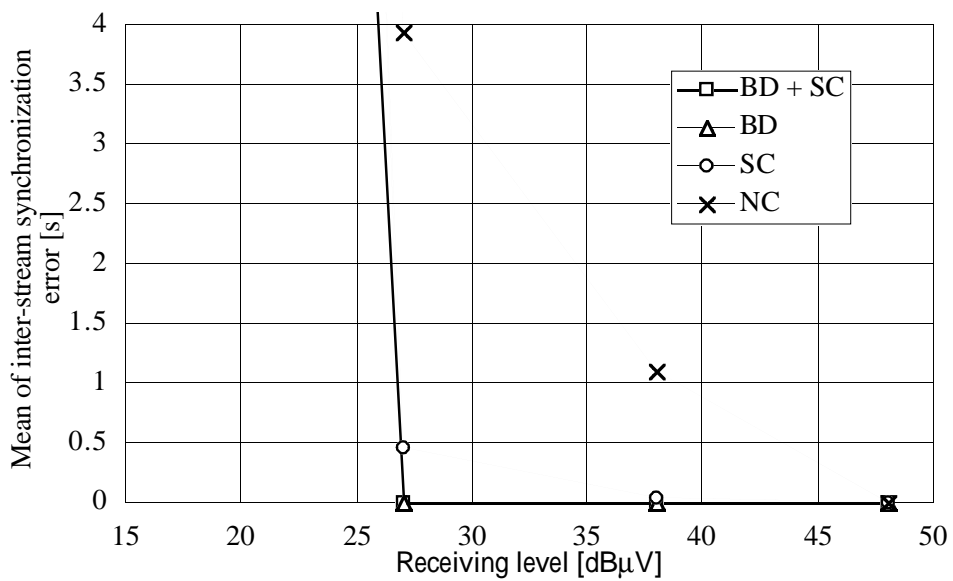


図3.18 平均メディア間同期ずれ時間（バースト誤り環境）

Fig. 3.18 Mean of  $\tau_n^{(1-2)}$  in burst error environment.

### 3.5 むすび

本章では、PHS の二つの通信チャネルを使用し、蓄積された H.263 圧縮ビデオ情報を ARQ で、蓄積された ADPCM 音声情報を無手順で伝送しながら再生することを考えた。ビデオや音声のメディア内同期や両者のメディア間同期を維持するために Bブロック廃棄制御、出力開始遅延制御、スライド制御を提案した。そしてランダム誤りとバースト誤りの各環境下において、実際のビデオ / 音声情報を使用したシミュレーションを行い、メディア同期の性能評価、および主観評価を行った。その結果、次のような結論を得た。

Bブロック廃棄制御は、平均 MU 出力レートが低下するものの、ビデオのメディア内同期の維持に極めて効果的である。また、スライド制御と出力開始遅延制御によるビデオ情報のバッファリングは、ビデオの一時的なメディア内同期の乱れを吸収するため非常に有効である。なお、出力開始遅延時間  $S_0$  の大きさは、スライド制御を適用すれば、柔軟に設定できる。更に、スライド制御は、音声のメディア内同期を故意に乱すものの、音声とビデオのメディア間同期の維持に非常に効果的である。

また本提案方式を適用すれば、BER が  $3.0 \times 10^{-4}$  以下のランダム誤り環境において、ビデオのメディア内同期ずれ時間  $t_n^{(1)}$  が平均 140 ms 以下、音声のメディア内同期ずれ時間  $t_n^{(2)}$  が平均 4 ms 以下、ビデオと音声のメディア間同期ずれ時間  $t_n^{(1-2)}$  が平均 139 ms 以下になる。また、このとき、ほぼ良好にメディア同期が維持されていることを主観評価によっても確認した。更に、バースト誤り環境においても、本提案方式がメディア同期の維持に効果的であることを確認した。





そこで本章では、スライド制御において、受信バッファのビデオ情報量に応じて目標出力時刻を変更する方式の併用を提案する。また、第3章と同様に、PHSの二つの通信チャネルを利用し、蓄積されたH.263圧縮ビデオ情報をARQで、蓄積されたADPCM音声情報を無手順で伝送しながら再生する場合を考える(図4.1)。そして、実際のビデオ情報と音声情報を使用したシミュレーションによりメディア同期性能を評価する。特に、ランダム誤りだけでなく、歩行速度での移動時に発生するバースト誤りに対する同期性能を評価し、本提案方式の有効性を示す。

本章の構成は次のとおりである。4.2節では提案方式について述べる。4.3節ではシミュレーションの仮定について述べる。4.4節では数値結果と性能評価を報告する。

## 4.2 メディア同期アルゴリズムの改良

第3章で提案したスライド制御を改良するために、本章では2種類の実行条件を考える。一つはビデオのメディア内同期ずれ時間  $t_n^{(1)}$ (以後、条件  $t_n^{(1)}$ と呼ぶ)であり、もう一つは受信バッファのビデオ情報量  $Q^{(1)}$ (以後、条件  $Q^{(1)}$ と呼ぶ)である。条件  $t_n^{(1)}$ は第3章で提案した条件であり、ビデオMU到着時におけるビデオのメディア内同期ずれ時間  $t_n^{(1)} (= A_n^{(1)} - t_n^{(1)})$ が、あるしきい値を超えた場合に目標出力時刻を変更する。一方、条件  $Q^{(1)}$ は本章で新たに導入するものであり、 $Q^{(1)}$ の値が、あるしきい値よりも小さくなった場合に目標出力時刻を変更する。

ここで、これらの条件によりスライド制御を実行した場合、音声のメディア内同期が  $S_n^{(2)}$ だけ乱れることに注意されたい。第3章では、このスライド制御が音声ストリームに及ぼす影響を考慮し、二種類の変更方法 (*gradual recovery*と*fast recovery*)を導入した。*gradual recovery*は、音声の影響を少なくするために、目標出力時刻を少しずつ変更して徐々にメディア間同期を修復する方法である。*fast recovery*は、音声への影響は大きいけれども、目標出力時刻を一度に大きく変更し、早急にメディア間同期を修復する方法である。

表4.1 スライド制御のパターン

Table 4.1 Patterns of the slide control.

pattern	description	
(a)	if $t_n^{(1)} > T_{h2}$ ,	then $S_n^{(i)} = 2$ (Fast recovery).
(b)	if $T_{h1} < t_n^{(1)} < T_{h2}$ ,	then $S_n^{(i)} = 1$ (Gradual recovery).
(c)	if $t_n^{(1)} < T_{h1}$ and $Q^{(1)} < T_{hQ}$ ,	then $S_n^{(i)} = 1$ (Gradual recovery).
(d)	if $t_n^{(1)} < T_{h1}$ and $Q^{(1)} > T_{hQ}$ ,	then $S_n^{(i)} = 0$ .

$S_n^{(i)}$ において、 $i=1$ はビデオ、 $i=2$ は音声を示す。

本章では、条件  $Q^{(1)}$ に関するしきい値を  $T_{hQ}$ と定義し、このしきい値により gradual recovery を実行する。また、第3章と同様に、条件  $n^{(1)}$ に関するしきい値  $T_{hj}$ 、スライド時間  $\tau_j$ 、最小許容時間間隔  $\tau_j$ を定義する。なお、 $j=1$ は gradual recovery、 $j=2$ は fast recovery を示す。

表4.1に、どの種類のスライド制御を実行するかを決めるためのアルゴリズムを示す。 $n$ 番目のビデオ MUを受信すると、メディア出力先は  $n^{(1)} (= A_n^{(1)} - t_n^{(1)})$ を計算し、しきい値  $T_{h1}$  や  $T_{h2}$  と比較する。もし、 $n^{(1)}$ の値がしきい値  $T_{h2}$  以上であり、かつ、前回の fast recovery の実行からの経過時間が  $\tau_2$  以上であれば、fast recovery を実行する。同様に、もし、 $n^{(1)}$ の値がしきい値  $T_{h1}$  以上、 $T_{h2}$  未満であり、かつ、前回の gradual recovery の実行からの経過時間が  $\tau_1$  以上であれば、gradual recovery を実行する。一方、 $n^{(1)}$ の値がしきい値  $T_{h1}$  未満の場合、メディア出力先は  $Q^{(1)}$ を計算する。このとき、 $Q^{(1)}$ の値がしきい値  $T_{hQ}$  未満であり、前回の gradual recovery の実行からの経過時間が  $\tau_1$  以上であれば、gradual recovery を実行する。これらの目標出力時刻の変更は、最初のビデオ MUの出力後から実行できる。

ここで、スライド制御を実行するとき、音声の出力は  $S_n^{(2)}$ だけ中断する。そこで、第3章と同様に、出力ずみの音声情報をスライド時間に相当する量だけバッファに残し、スライド制御時に音声を巻き戻して出力することで、音声の中断を回避する。

## 4.3 シミュレーションの仮定

### 4.3.1 通信環境の仮定

シミュレーションを行うにあたり、以下の仮定を置く。

**A1.** PHSの32 kbit/s非制限デジタルベアラサービスにおいて、SR-ARQを採用する。特に、PIAFSと同様の誤り制御方式の適用を仮定する。

**A2.** ビット誤りは、基地局と移動局間の無線部における情報チャネルTCHのみに発生する。ビデオサーバと基地局間の有線部におけるビット誤りは無視する。

**A3.** ランダム誤り環境におけるビット誤りの発生は、幾何分布に従う。

**A4.** バースト誤り環境として二状態マルコフ連鎖モデル(ギルバートモデル)を適用する[Luck68]。なお、状態遷移確率は、フェージング周波数8Hz(歩行時に相当)における各受信レベルとビット誤り率(BER)、平均バースト長の測定結果から算出した[Fuji94]。

**A5.** ビデオサーバと基地局間の伝搬遅延時間、およびARQフレーミングによる処理遅延時間の合計を20 msと仮定する。また、基地局と移動局間の無線部における電波伝搬遅延は無視する。

#### 4.3.2 蓄積メディアの仮定

ビデオ情報は，H.263で規定された四つのコーディング・オプションのうち，PBフレームモードのみを適用して作成する[Tele96a]．メディアソースには，映画「ラビリンス」のラストシーンを使用する．低ビットレートにおいても十分な画質とMUレートを確保するために，画像サイズはsub-QCIF（128 × 96ピクセル）を選択する．ビデオのMU発生レート  $M_R^{(1)}$  を15 MU/s，音声のMU発生レート  $M_R^{(2)}$  を10 MU/sと，それぞれ固定値とする．なお，音声の各MUサイズ  $M_s^{(2)}$  は3,200 bitになる．また，ビデオの符号発生レートを29.2 kbit/sとし，空間的解像度制御により符号発生量を制御して，H.263圧縮ビデオ情報を作成する．

使用した蓄積メディアの諸元を以下に示す．

A1. 記録時間	122.333 s
A2. 総I, P, PBフレーム数	1,102 フレーム
PBフレーム数	734 フレーム
A3. ビデオ情報量	3,583,656 bit
A4. Bブロック占有率	13.1 % (470,748 bit)
A5. 平均量子化特性	11.2

#### 4.3.3 評価システム

図4.2に実際のH.263圧縮ビデオ情報とADPCM音声情報を使用する評価システムのソフトウェア構成を示す．ビデオの情報ファイルは，各ビデオフレームのリファレンス番号，ピクチャ種別，サイズ，Bブロックサイズ等を含む．ワークステーションで通信プロトコルやエラー環境等のシミュレーションを行い，ビデオの情報ファイルをもとにメディア内，およびメディア間同期ずれ時間を求め，各メディアの出力情報ファイルを生成する．更に，ADPCM音声情報にエラー環境に応じたビット誤りを付加する．そして各メディアは，これらの出力情報ファイルをもとに出力制御されて再生される．

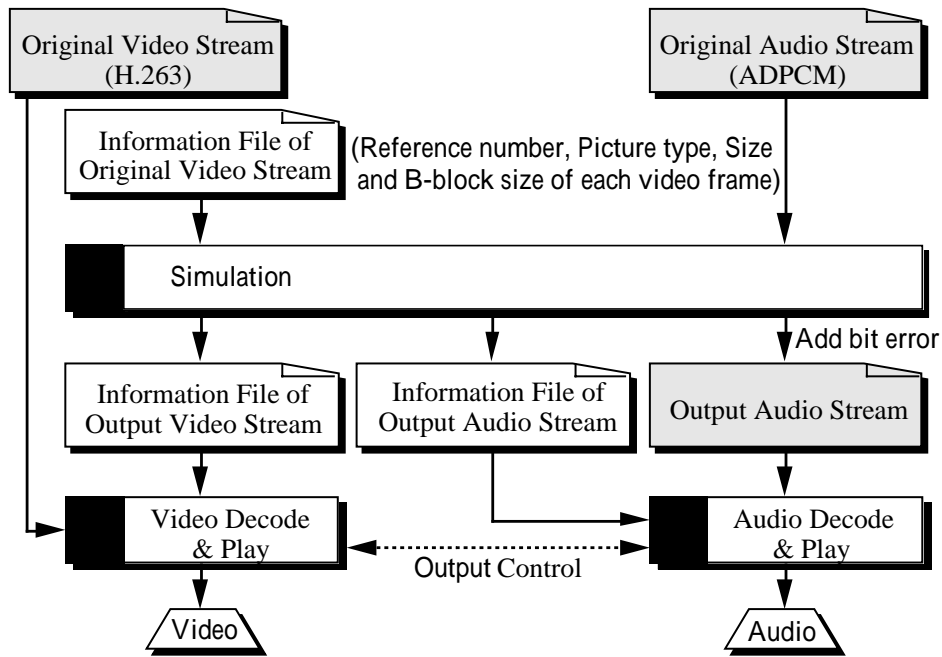


図4.2 評価システムの構成

Fig. 4.2 Block diagram of the evaluation system.

#### 4.3.4 評価尺度

本章では、評価尺度として、メディア間同期ずれ時間  $D_n^{(1-2)}$  の平均値、メディア  $i$  のメディア内同期ずれ時間  $D_n^{(i)}$  の平均値、メディア  $i$  の MU の出力間隔の変動係数  $C_v^{(i)}$  [Tsu97]、総スライド時間  $S_N^{(1)}$  を用いる。なお、 $N$  は総 MU 数を意味する。

ここで、 $C_v^{(i)}$  は次式で与えられる。

$$C_v^{(i)} \triangleq \left[ \left\{ \sum_{n=1}^{N-1} (D_{n+1}^{(i)} - D_n^{(i)} - E^{(i)})^2 \right\} / (N-1) \right]^{1/2} / E^{(i)}$$

$$E^{(i)} \triangleq (D_N^{(i)} - D_1^{(i)}) / (N-1).$$

なお、 $C_v^{(i)}$  は出力の滑らかさを表し、 $D_n^{(i)}$  は時間的構造の保持の正確さを表す。本章では、メディア内同期性能を示す評価尺度として、 $D_n^{(i)}$  だけでなく、 $C_v^{(i)}$  も使用する。これは、主観評価の観点からは、出力の滑らかさも重要であると考えたためである。

## 4.4 数値結果

本節では、まず、条件  $Q^{(1)}$  によるスライド制御の性能を評価する。つぎに、条件  $Q^{(1)}$  によって引き起こされたポーズ時間を調べると共に、メディアの品質に対し主観評価を行う。最後に、しきい値  $T_{hQ}$  の最適値について議論する。

シミュレーションにおいて、各パラメータを以下のように設定する。 $T_{h1} = 100 \text{ ms}$ ,  $\tau_1 = 100 \text{ ms}$ ,  $\tau_1 = 1 \text{ s}$ ,  $T_{h2} = 2 \text{ s}$ ,  $\tau_2 = 4 \text{ s}$ ,  $\tau_2 = 60 \text{ s}$ 。特に、4.4.1 節と 4.4.2 節では、 $T_{hQ} = 29.2 \text{ kbit}$  とする。ここで、 $\tau_1$  と  $\tau_1$  の値は、音声 MU の繰り返し出力がエコーに聞こえるように選択した。一方、受信バッファはビデオ MU の一時的な遅延揺らぎを吸収するため、最初のビデオ MU の出力待ち時間  $\tau_1^{(1)}$  の値は、メディア同期性能に影響を及ぼす。しかし、第 3 章では、スライド制御を適用すれば、 $\tau_1^{(1)}$  の値はメディア同期品質にあまり影響しないことを示している。従って本章では、 $\tau_1^{(1)}$  と最初のビデオ MU の伝送に必要な時間との和を  $S$  と定義し、 $S = 5 \text{ s}$  とする。

### 4.4.1 条件 $Q^{(1)}$ によるスライド制御の性能

まず、ランダム誤り環境における BER とビデオ伝送チャネルのスループットとの関係、バースト誤り環境における受信レベルとビデオ伝送チャネルのスループットとの関係を、それぞれ図 4.3、図 4.4 に示す。なおスループットは、単位時間あたりに送信が完了した情報量を PHS の伝送容量 (32 kbit/s) で正規化したものである。図 4.3 によれば、例えば  $\text{BER} = 1.0 \times 10^{-4}$  において、スループットは 0.85 になる。同様に、図 4.4 によれば、例えば受信レベルが 27 dB $\mu$ V において、スループットは 0.84 になる。

つぎに、条件  $Q^{(1)}$  によるスライド制御の性能を評価するために、メディア間同期ずれ時間、メディア内同期ずれ時間、変動係数を調べる。

#### (1) メディア間同期ずれ時間

ランダム誤り環境における BER とメディア間同期ずれ時間  $\tau_n^{(1-2)}$  の平均値との関係、および、バースト誤り環境における受信レベルと  $\tau_n^{(1-2)}$  の平均値との関係を、それぞれ図 4.5、図 4.6 に示す。図において、“ $\Delta+Q$ ” はスライド制御の条件  $\tau_n^{(1)}$  と条件  $Q^{(1)}$  の両方を適用した場合、“ $\Delta$ ” は条件  $\tau_n^{(1)}$  だけを適用した場合を示す。また、“BD+ $\Delta+Q$ ” と “BD+ $\Delta$ ” は、それぞれ “ $\Delta+Q$ ” と “ $\Delta$ ” と同じスライド制御の条件に加えて、B ブロック廃棄制御を適用した場合を示す。“NC” はスライド制御と B ブロック廃棄制御のいずれも適用しない場合を示す。

図 4.5 において、“ $\Delta+Q$ ” と “ $\Delta$ ” を比較すれば、条件  $Q^{(1)}$  によるスライド制御がメディア間同期に有効であることがわかる。例えば、 $\text{BER} = 2.0 \times 10^{-5}$  において、“ $\Delta+Q$ ” の  $\tau_n^{(1-2)}$  の平均値は、“ $\Delta$ ” の値よりも小さくなっている。

ここで、メディア間同期品質を評価するために、文献 [Ste96] の結果を引用する。これは、メディア間の同期ずれ時間  $\tau_n^{(1-2)}$  が 80 ms 以内であればメディア間同期は良好な状態であり、160 ms 以上であれば同期外れの状態であると報告している。なお、これらの条件が sub-QCIF の画像サイズにおいても適用可能であることを、主観評価によって確認

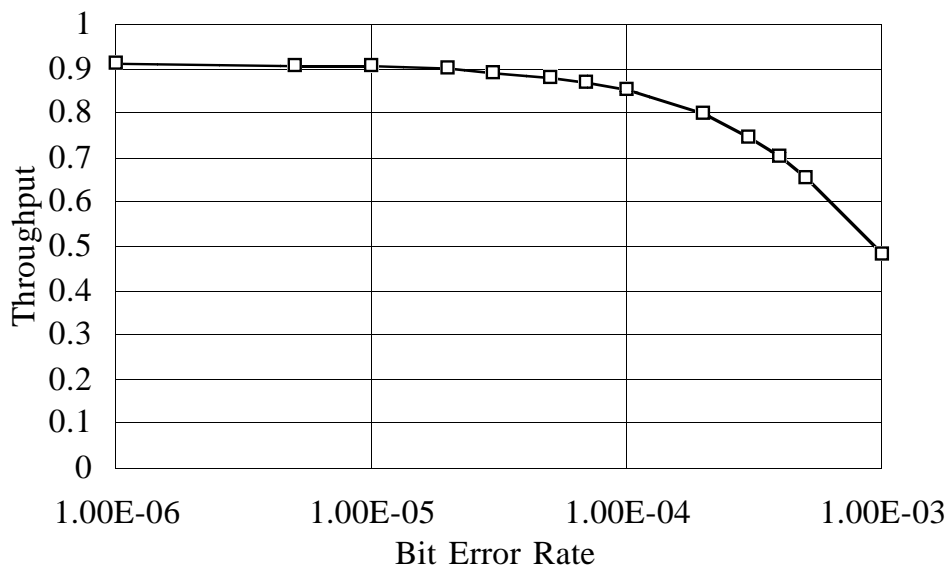


図4.3 スループットとBERの関係（ランダム誤り環境）

Fig. 4.3 Throughput versus BER in random error environment.

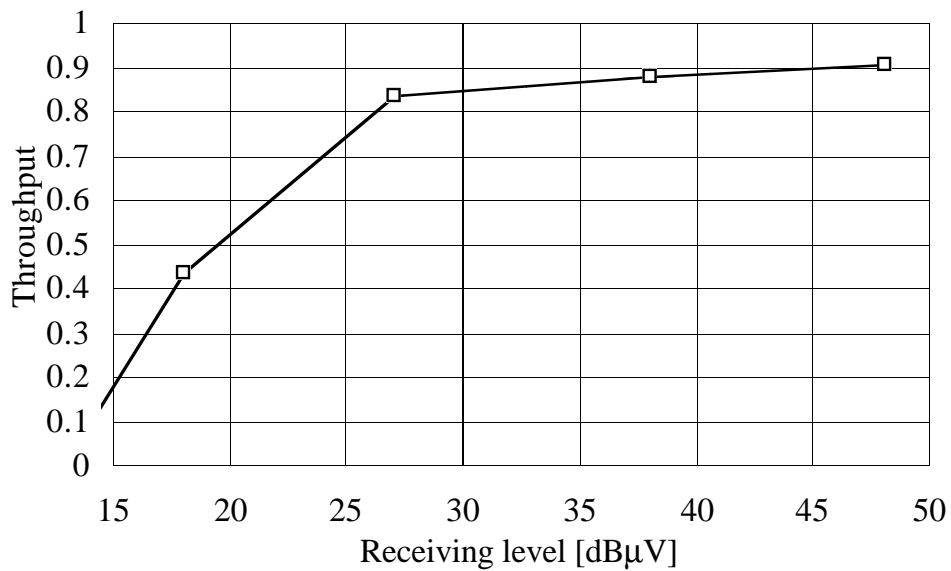


図4.4 スループットと受信レベルの関係（バースト誤り環境）

Fig. 4.4 Throughput versus receiving level in burst error environment.

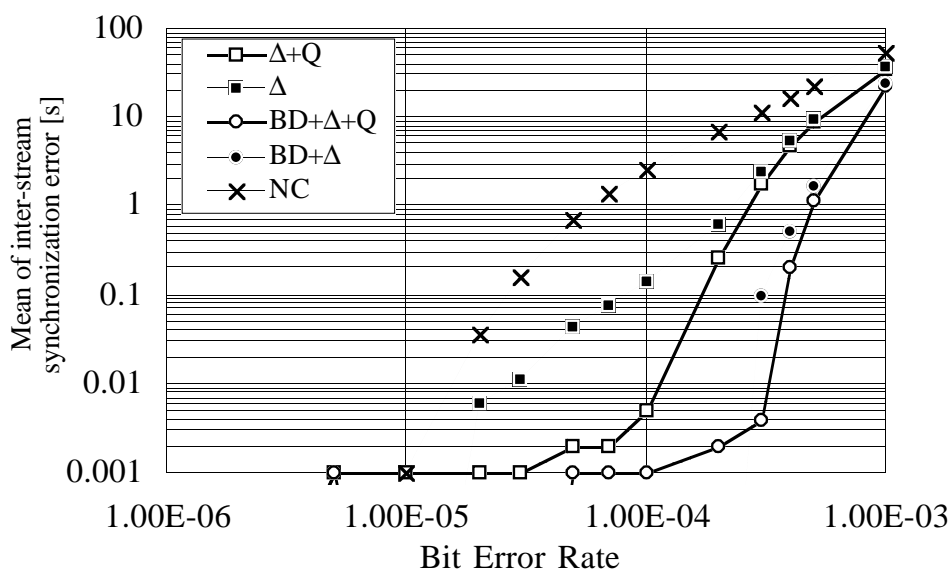


図4.5  $n^{(1-2)}$ の平均値とBERの関係（ランダム誤り環境）

Fig. 4.5 Mean of  $n^{(1-2)}$  versus BER in random error environment.

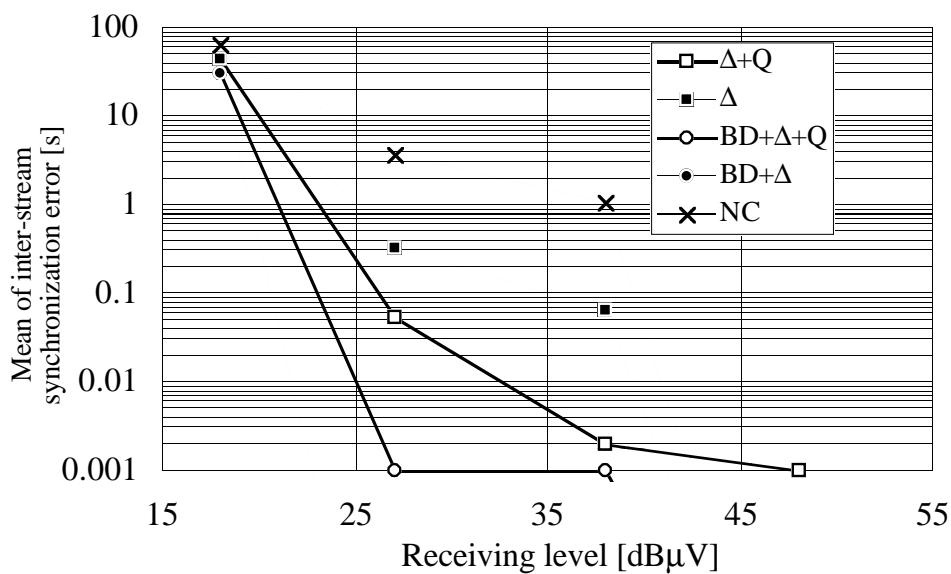


図4.6  $n^{(1-2)}$ の平均値と受信レベルの関係（バースト誤り環境）

Fig. 4.6 Mean of  $n^{(1-2)}$  versus receiving level in burst error environment.



している。例えば，“ $\Delta+Q$ ”は $BER = 1.0 \times 10^{-4}$ において，良好なメディア間同期を維持できる。しかし，同じBERであっても，“ $\Delta$ ”は良好な同期を維持できない。一方， $BER < 2.0 \times 10^{-5}$ において，“ $\Delta+Q$ ”の値は，“ $\Delta$ ”のそれよりも大きくなる。これは，BERが小さいときにおいても，条件 $Q^{(1)}$ によるスライド制御が頻繁に実行されたためである。更に， $n$ 番目のビデオMUの目標出力時刻 $t_n^{(1)}$ を変更するとき，その直後に発生した $m+1$ 番目の音声MUの目標出力時刻 $t_{m+1}^{(2)}$ を変更するけれども， $t_n^{(1-2)}$ はその直前に発生した $m$ 番目の音声MUの $t_m^{(2)}$ によって計算されるためである。しかしながら，これらの値は80msより十分に小さく，性能の差は大きな意味を持たない。

つぎに，スライド制御と共にBブロック廃棄制御を適用した場合（“BD+ $\Delta+Q$ ”と“BD+ $\Delta$ ”）について考える。図4.5によれば，条件 $Q^{(1)}$ によるスライド制御は，同様にメディア間同期性能を改善できると言える。ここで，“BD+ $\Delta+Q$ ”と“ $\Delta+Q$ ”を比較すれば，Bブロック廃棄制御がメディア間同期性能の改善に有効であることがわかる。しかしながら，Bブロック廃棄制御による性能改善の程度は，Bブロックのサイズ等のビデオストリームの特徴に依存する。しかるに，スライド制御の効果はビデオストリームの特徴には影響を受けない。従って，良好なメディア同期を維持するには，条件 $Q^{(1)}$ によるスライド制御の適用が重要である。

更に，図4.6によれば，バースト誤り環境においても，条件 $Q^{(1)}$ によるスライド制御がメディア間同期に有効であると言える。

## (2) メディア内同期ずれ時間

つぎに，メディア内同期性能を調べる。ランダム誤り環境における音声のメディア内同期ずれ時間 $t_n^{(2)}$ の平均値とBERとの関係，および，ビデオのメディア内同期ずれ時間 $t_n^{(1)}$ の平均値とBERとの関係を，それぞれ図4.7と図4.8に示す。また，バースト誤り環境における $t_n^{(2)}$ の平均値と受信レベルとの関係，および， $t_n^{(1)}$ の平均値と受信レベルとの関係を，それぞれ図4.9と図4.10に示す。

図4.7によれば，ランダム誤り環境において，条件 $Q^{(1)}$ によるスライド制御により，音声のメディア内同期ずれは大きくなる。特に，BERが小さくなるほど，その傾向は顕著である。これは，BERが小さいときでも，スライド制御により音声MUの目標出力時刻が変更されたためである。しかしながら，各値は大きすぎることはない。なお，“NC”の場合， $t_n^{(2)}$ は常に0である。一方，図4.8によれば，条件 $Q^{(1)}$ によるスライド制御は，ランダム誤り環境において，ビデオのメディア内同期にも有効であると言える。

バースト誤り環境においても，条件 $Q^{(1)}$ によるスライド制御は，ビデオのメディア内同期に有効である（図4.10）。但し，Bブロック廃棄制御を適用した場合（“BD+ $\Delta+Q$ ”と“BD+ $\Delta$ ”），“BD+ $\Delta+Q$ ”の $t_n^{(1)}$ の平均値は，“BD+ $\Delta$ ”のそれよりも大きくなる。しかしながら，両者の値は，受信レベルが27 dB $\mu$ V以上では，非常に小さくなることに注意されたい。これとは反対に，音声のメディア内同期性能は，条件 $Q^{(1)}$ によるスライド制御により，少しだけ悪くなる（図4.9）。

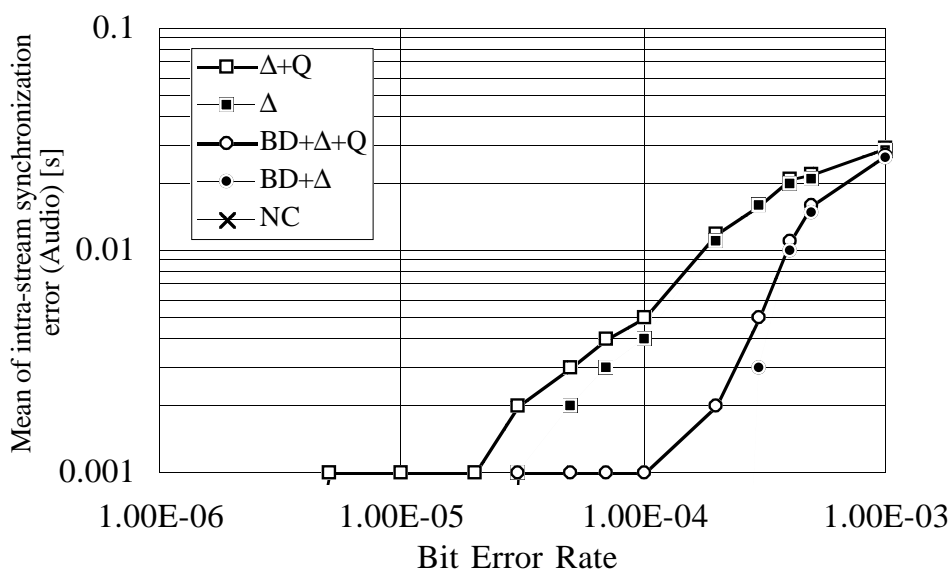


図4.7  $n^{(2)}$ の平均値とBERの関係 (ランダム誤り環境)  
 Fig. 4.7 Mean of  $n^{(2)}$  versus BER in random error environment.

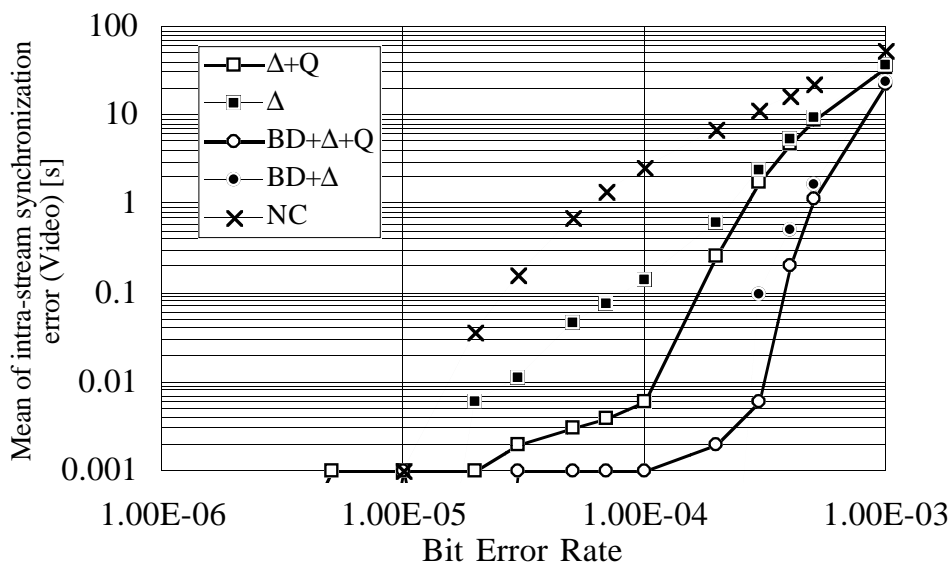


図4.8  $n^{(1)}$ の平均値とBERの関係 (ランダム誤り環境)  
 Fig. 4.8 Mean of  $n^{(1)}$  versus BER in random error environment.

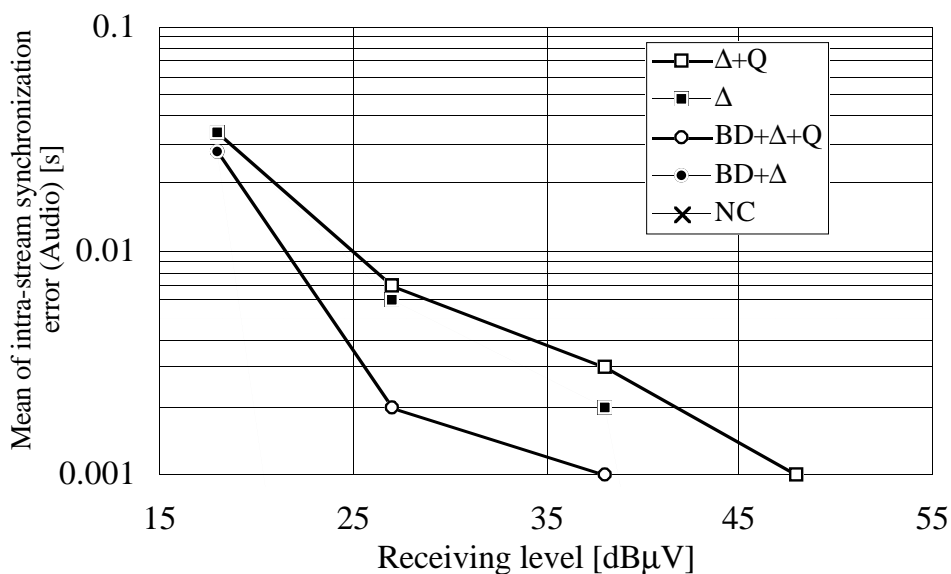


図4.9  $n^{(2)}$ の平均値と受信レベルの関係（バースト誤り環境）  
**Fig. 4.9** Mean of  $n^{(2)}$  versus receiving level in burst error environment.

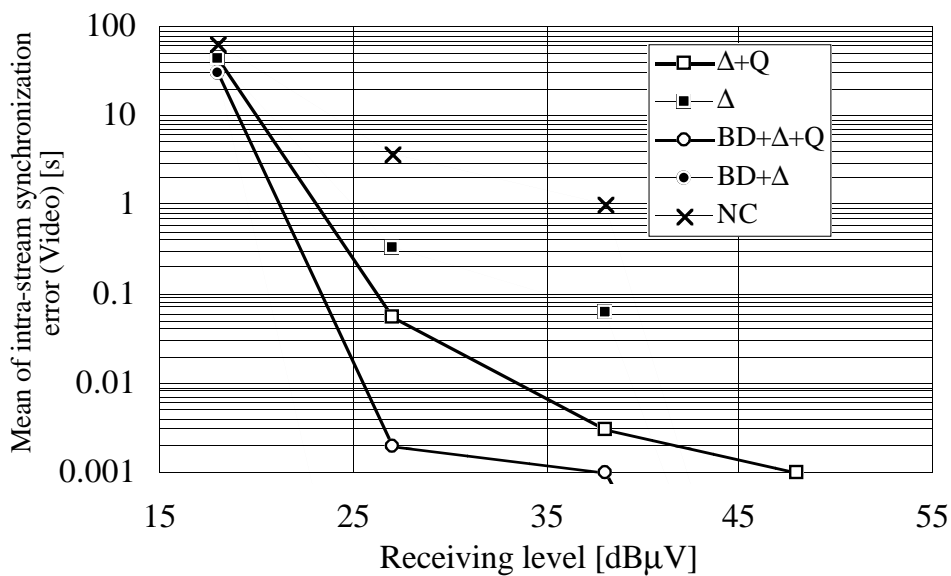


図4.10  $n^{(1)}$ の平均値と受信レベルの関係（バースト誤り環境）  
**Fig. 4.10** Mean of  $n^{(1)}$  versus receiving level in burst error environment.

### (3) 出力間隔の変動係数 $C_V^{(i)}$

同様に、各メディアのメディア内同期の品質を、変動係数を評価尺度として調べる。ランダム誤り環境におけるビデオの変動係数  $C_V^{(1)}$  と BER の関係、および音声の変動係数  $C_V^{(2)}$  と BER の関係を、それぞれ図 4.11、図 4.12 に示す。また、バースト誤り環境における  $C_V^{(1)}$  と受信レベルの関係、および  $C_V^{(2)}$  と受信レベルの関係を、それぞれ図 4.13、図 4.14 に示す。なお、変動係数が小さいほど、より滑らかな出力が得られることを意味する。また、B ブロック廃棄制御による性能改善の程度はビデオストリームの特徴に依存するので、これらの図では、B ブロック廃棄制御を適用した場合 ("BD+ $\Delta$ +Q" と "BD+ $\Delta$ ") はプロットしていない。

まず、ランダム誤り環境におけるビデオの変動係数  $C_V^{(1)}$  について調べる。図 4.11 によれば、BER  $2.0 \times 10^{-5}$  において、" $\Delta$ +Q" は " $\Delta$ " よりも小さくなっている。すなわち、条件  $Q^{(1)}$  によるスライド制御は、ビデオの変動係数の減少に有効であると言える。例えば、BER =  $1.0 \times 10^{-4}$  では、" $\Delta$ +Q" の値は 0.35 であり、" $\Delta$ " の値の約半分に等しい。なお、BER  $< 2.0 \times 10^{-5}$  では、" $\Delta$ +Q" は " $\Delta$ " よりも大きくなることに注意されたい。これは、BER が小さくても、条件  $Q^{(1)}$  によるスライド制御が頻繁に実行されたためである。しかしながら、その値は大きすぎることはない。

また、BER  $1.0 \times 10^{-4}$  において、" $\Delta$ +Q" は " $\Delta$ " よりも BER の影響を受けにくい。これは、" $\Delta$ +Q" では、BER が変化しても、ビデオ MU の出力を滑らかに維持できることを意味する。これは、条件  $Q^{(1)}$  によるスライド制御が受信バッファのビデオ情報量の低下を避けるように実行されたためである。実際に主観評価を行うと、BER  $1.0 \times 10^{-4}$  では、滑らかなビデオであった。

なお、BER  $2.0 \times 10^{-4}$  では、" $\Delta$ +Q" と " $\Delta$ " の両方において、ビデオの変動係数は大きくなることに注意されたい。これは fast recovery が実行されるためである。更に、これらの値は "NC" の場合よりも大きくなる。

つぎに、ランダム誤り環境における音声の変動係数  $C_V^{(2)}$  について調べる。図 4.12 によれば、BER  $1.0 \times 10^{-4}$  において、" $\Delta$ +Q" は " $\Delta$ " よりもわずかに大きくなる。これは、BER が小さくても、条件  $Q^{(1)}$  によるスライド制御が頻繁に実行されるためである。しかしながら、各値は十分に小さい。また、BER  $2.0 \times 10^{-4}$  では、" $\Delta$ +Q" と " $\Delta$ " は、fast recovery が実行されるために、大きく増加する。なお、"NC" の変動係数は常に 0 である。

一方、バースト誤り環境においても、条件  $Q^{(1)}$  によるスライド制御は、音声の変動係数を少し増加させるものの、ビデオの変動係数の減少に有効である (図 4.13、図 4.14)。

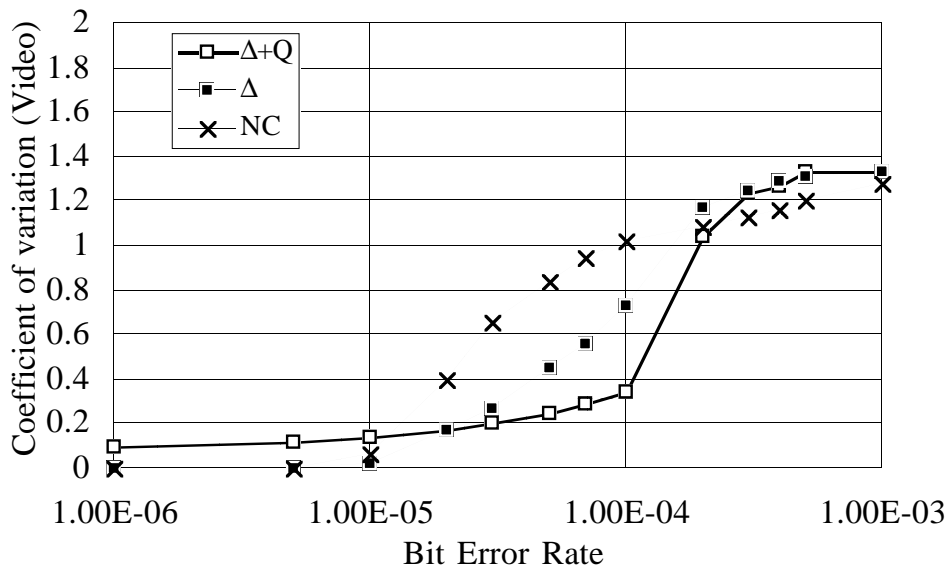


図4.11  $C_v^{(1)}$ とBERの関係 (ランダム誤り環境)  
**Fig. 4.11**  $C_v^{(1)}$  versus BER in random error environment.

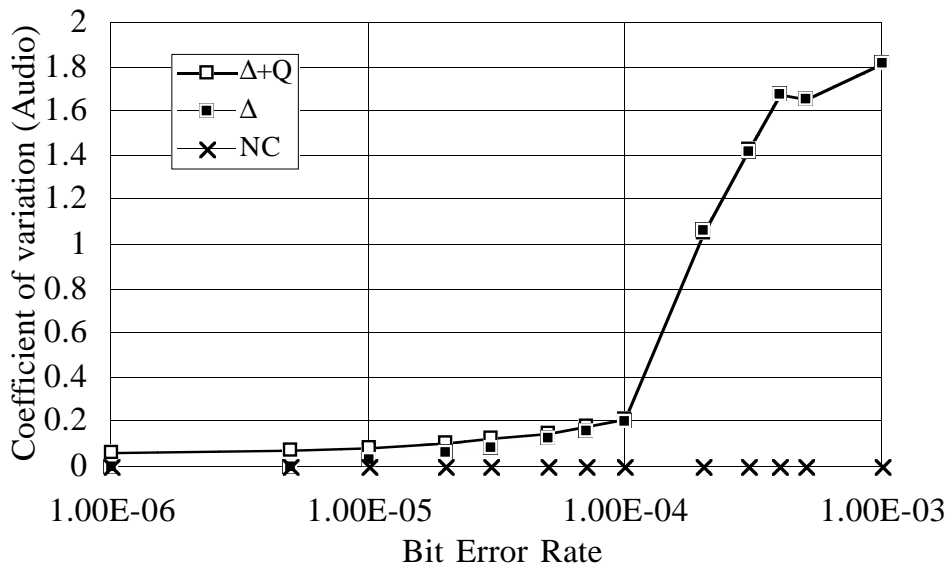


図4.12  $C_v^{(2)}$ とBERの関係 (ランダム誤り環境)  
**Fig. 4.12**  $C_v^{(2)}$  versus BER in random error environment.

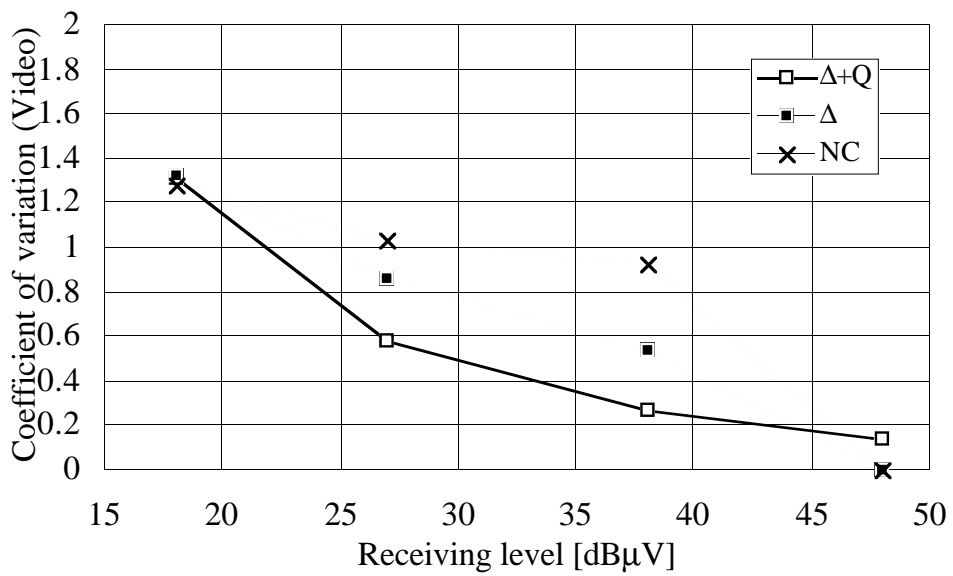


図4.13  $C_v^{(1)}$ と受信レベルの関係（バースト誤り環境）  
 Fig. 4.13  $C_v^{(1)}$  versus receiving level in burst error environment.

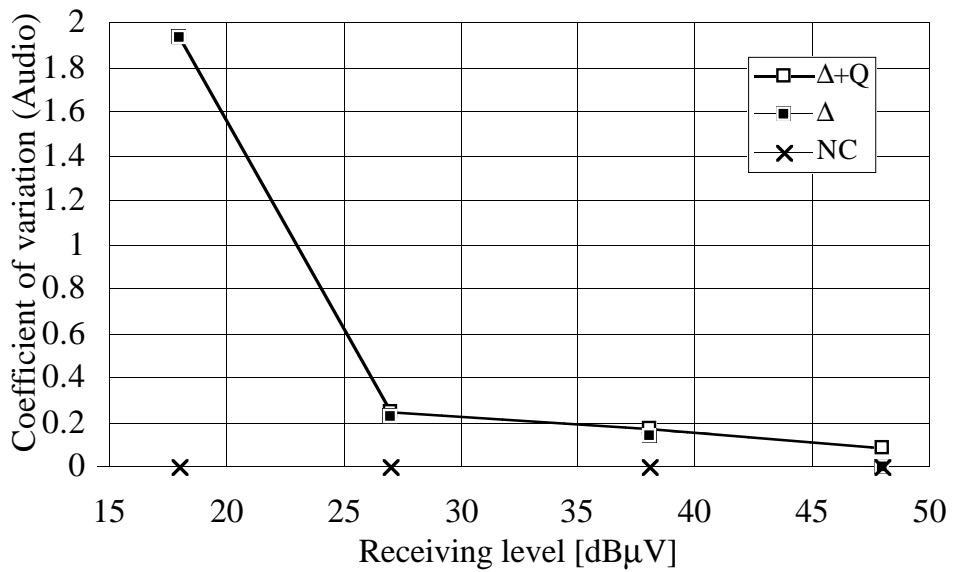


図4.14  $C_v^{(2)}$ と受信レベルの関係（バースト誤り環境）  
 Fig. 4.14  $C_v^{(2)}$  versus receiving level in burst error environment.

#### 4.4.2 ポーズ時間とその影響

つぎに、条件  $Q^{(1)}$  によるスライド制御が引き起こすポーズ時間について調べると共に、主観評価を行う。図4.15に総スライド時間  $S_N^{(1)}$  を示す。 $S_N^{(1)}$  の増加は、総出力時間の増加だけでなく、MU 出力時のポーズ時間の増加も意味する。

これによれば、BERが小さい場合でも、条件  $Q^{(1)}$  によるスライド制御が頻繁に実行されることがわかる。“ $\Delta+Q$ ” は “ $\Delta$ ” よりも大きく、特に、両者の差はBERが小さくなるほど大きい。これは、BERが小さくても、条件  $Q^{(1)}$  によるスライド制御が、総出力時間とポーズ時間の増加を引き起こしたためである。しかしながら、増加時間は1秒以下であり、記録時間（約122秒）と比較すれば、十分に小さな値である。なお、BER  $2.0 \times 10^{-4}$  における総スライド時間の大きな増加は、fast recovery によるものである。

そこで、ポーズ時間がビデオと音声に及ぼす影響を主観的に評価する。条件  $Q^{(1)}$  により gradual recovery が実行されたとき、ビデオ MU と音声 MU の出力はスライド時間  $t_1$  (= 100 ms) だけ停止する。ビデオ MU の場合、この停止の間は、直前のビデオ MU の映像を見ることになる。しかも、ポーズ時間はそれほど大きくないので、実際にビデオ情報を見てもビデオ MU のポーズに気がつかない。

一方、音声 MU の場合、通常、ポーズにより音が途切れる。しかも、ポーズ時間が 100 ms であっても、容易に音声出力のポーズを認識できるため、主観的に好ましくない。しかしながら、ポーズ期間中に直前の音声 MU を繰り返して出力すれば、音声はエコーがかかったように聞こえるものの、音声出力のポーズは認識できない。従って、ポーズ期間中に直前の音声 MU を繰り返して出力することは、スライド制御が音声ストリームに及ぼす影響を削減でき、主観評価の点から好ましい方法である。

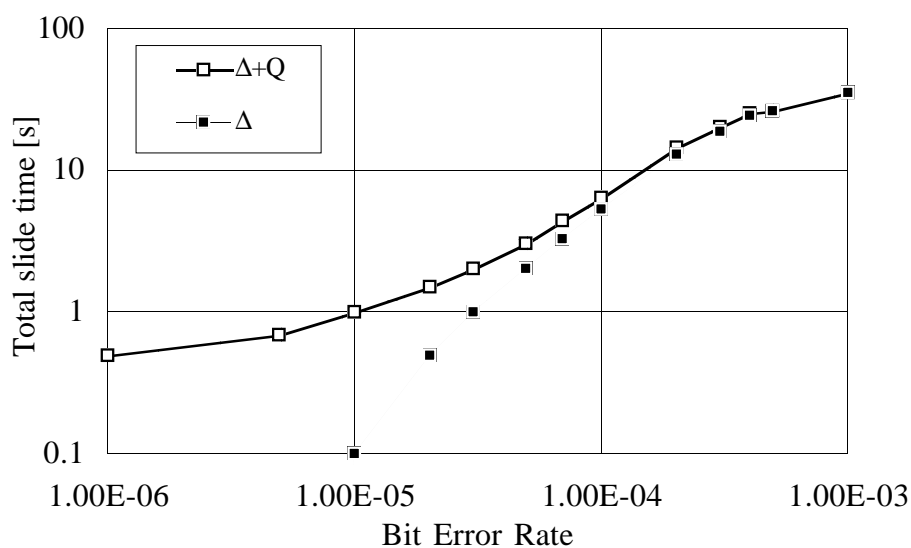


図4.15 総スライド時間とBERの関係

Fig. 4.15 Total slide time versus BER.

#### 4.4.3 しきい値 $T_{hQ}$ の影響

ここでは、しきい値  $T_{hQ}$  の影響について議論する。特に、ビデオの総スライド時間  $S_N^{(1)}$  とメディア間同期ずれ時間  $\tau_n^{(1-2)}$  の平均値を評価尺度とし、しきい値  $T_{hQ}$  の影響を調べる。

ランダム誤り環境における " $\Delta+Q$ " の  $S_N^{(1)}$  と  $\tau_n^{(1-2)}$  の関係を図 4.16 に、バースト誤り環境における " $\Delta+Q$ " の  $S_N^{(1)}$  と  $\tau_n^{(1-2)}$  の関係を図 4.17 に示す。ここで、 $\tau_n^{(1-2)}$  は、 $T_{hQ}$  の値と同じビデオ情報量を受信するのに必要な最小時間と定義する。すなわち、ビデオの最大スループットは 29,200 bit/s であるので、 $\tau_n^{(1-2)} = T_{hQ} / 29,200$  となる。なお、 $\tau_n^{(1-2)} = 0$  は " $\Delta$ " と等価である。図 4.16 によれば、ランダム誤り環境では、 $\tau_n^{(1-2)}$  が大きくなるにつれて  $S_N^{(1)}$  も増加することがわかる。また、バースト誤り環境においても、同様の結果が得られる (図 4.17)。すなわち、 $S_N^{(1)}$  を削減するためには、 $\tau_n^{(1-2)}$  をより小さな値に設定することが望ましい。

つぎに、ランダム誤り環境における " $\Delta+Q$ " の  $\tau_n^{(1-2)}$  と  $\tau_n^{(1-2)}$  の関係を図 4.18 に、バースト誤り環境における " $\Delta+Q$ " の  $\tau_n^{(1-2)}$  と  $\tau_n^{(1-2)}$  の関係を図 4.19 に示す。図 4.18 によれば、ランダム誤り環境では、 $\tau_n^{(1-2)}$  が小さくなるにつれて  $\tau_n^{(1-2)}$  が増加する傾向がある。しかし、1.0 においては、その傾向はあまり顕著ではない。ここで、メディア間同期を良好に維持するために、 $\tau_n^{(1-2)}$  を 80 ms 以内におさえることを考える。そのためには、例えば、BER  $1.0 \times 10^{-4}$  の場合、 $\tau_n^{(1-2)} = 0.25$  に設定しなければならない。同様に、バースト誤り環境においても、例えば、受信レベルが 27 dB $\mu$ V 以上の場合、 $\tau_n^{(1-2)} = 1.0$  に設定しなければならない。しかしながら、総スライド時間を大きく増加させないためには、 $\tau_n^{(1-2)}$  をより小さく設定することが望ましい。従って、このような PHS 回線の状態があまり悪くない状態においては、 $\tau_n^{(1-2)}$  の値を 1.0 (すなわち  $T_{hQ} = 29.2$  kbit) 程度に設定するのが適当である。



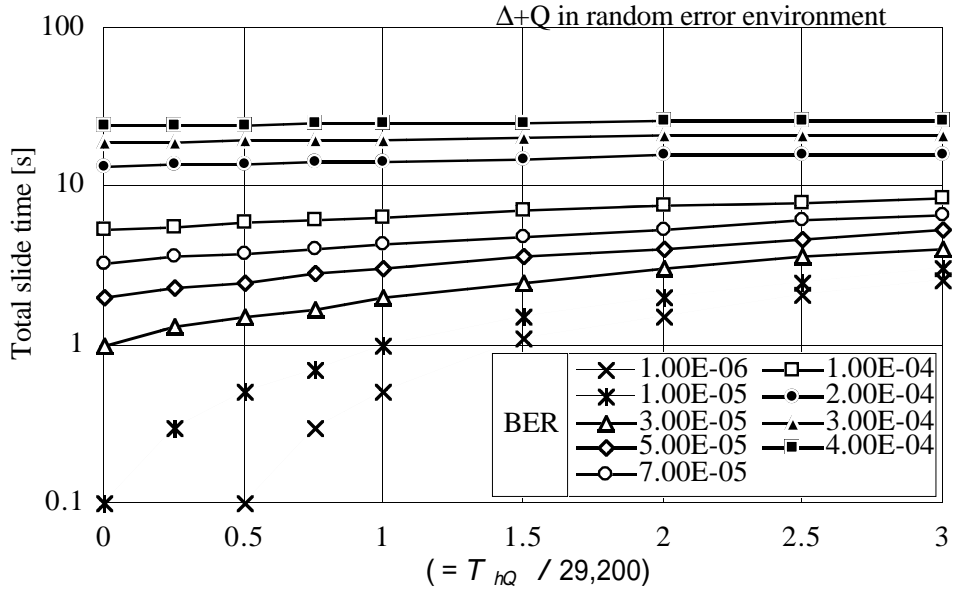


図4.16 総スライド時間と  $\Delta+Q$  の関係 (ランダム誤り環境)  
 Fig. 4.16 Total slide time versus  $\Delta+Q$  in random error environment.

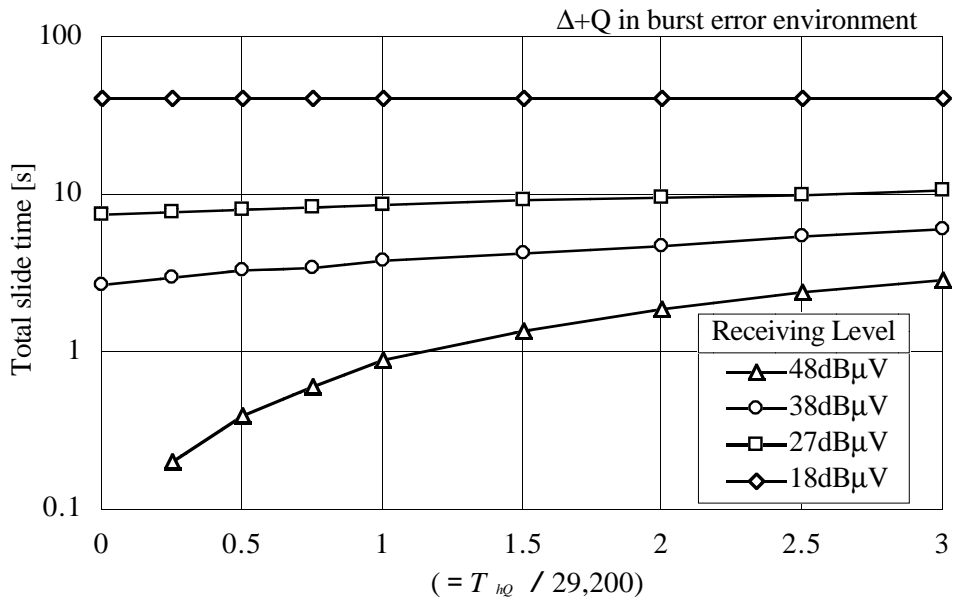


図4.17 総スライド時間と  $\Delta+Q$  の関係 (バースト誤り環境)  
 Fig. 4.17 Total slide time versus  $\Delta+Q$  in burst error environment.

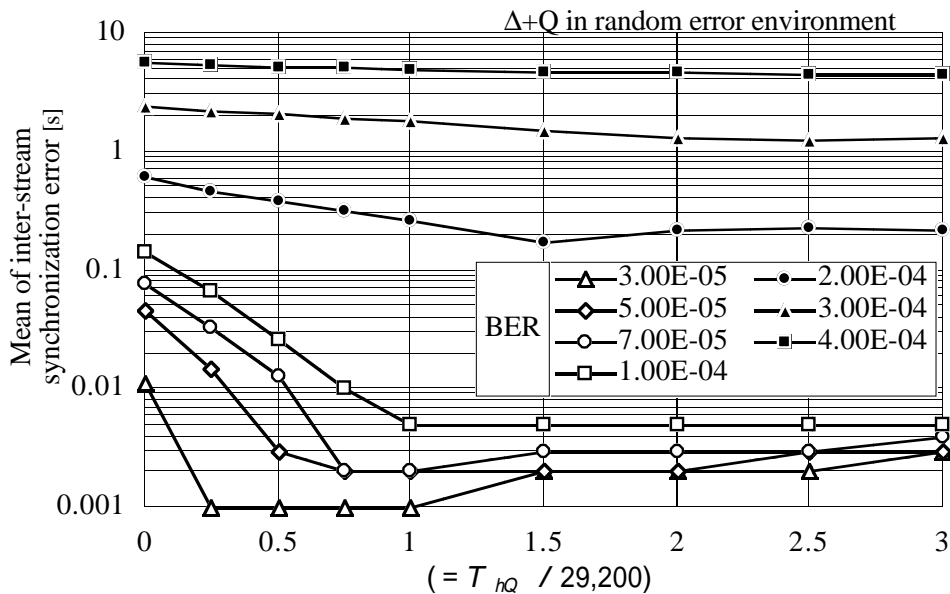


図4.18  $n^{(1-2)}$ の平均値と  $(= T_{hQ} / 29,200)$  の関係 (ランダム誤り環境)  
 Fig. 4.18 Mean of  $n^{(1-2)}$  versus  $(= T_{hQ} / 29,200)$  in random error environment.

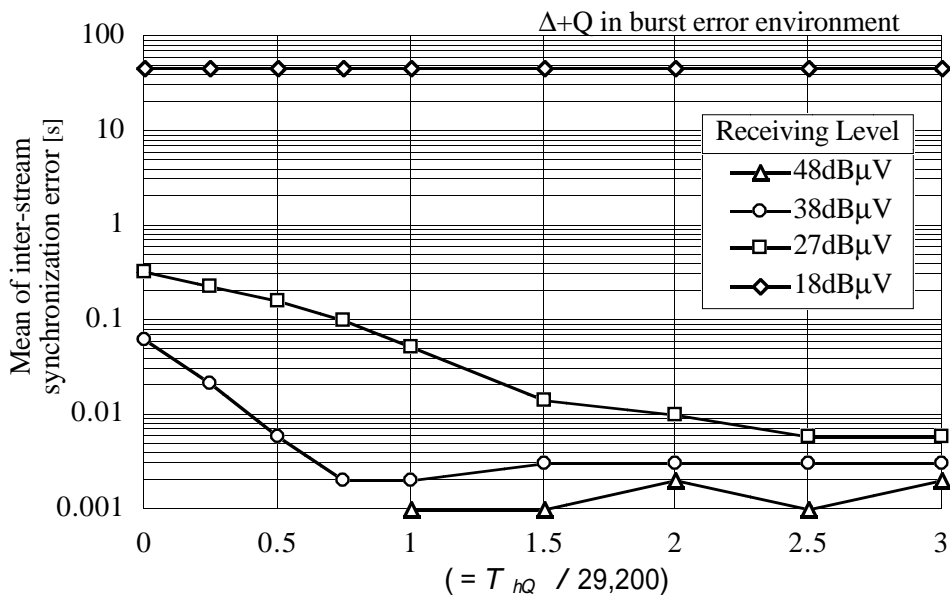


図4.19  $n^{(1-2)}$ の平均値と  $(= T_{hQ} / 29,200)$  の関係 (バースト誤り環境)  
 Fig. 4.19 Mean of  $n^{(1-2)}$  versus  $(= T_{hQ} / 29,200)$  in burst error environment.

## 4.5 むすび

本章では、目標出力時刻を変更するかどうかを判断するために、ビデオのメディア内同期ずれ時間に加えて、受信バッファのビデオ情報量 $Q^{(1)}$ を利用する新しいスライド制御を提案した。そして、蓄積されたビデオと音声を別々のPHS回線で伝送する場合において、条件 $Q^{(1)}$ によるスライド制御の性能を評価した。

その結果、条件 $Q^{(1)}$ によるスライド制御は、メディア同期に有効であることを確認した。また、Bブロック廃棄制御も有効である。しかしながら、Bブロック廃棄制御の有効性はビデオストリームの性質に依存するのに対し、スライド制御の有効性はビデオストリームの性質に依存しない。これはスライド制御の非常に重要な利点である。また、スライド制御を適用すれば、良好なメディア同期を維持できることを主観評価によっても確認した。更に、PHS回線の状態があまり悪くない状態においては、条件 $Q^{(1)}$ によるスライド制御のしきい値 $T_{hQ}$ を約 29.2 kbit ( 1.0)に設定すべきである。



## 第5章

# PHSによるライブメディア伝送時の メディア同期性能評価

### 5.1 まえがき

本章では、PHSによるライブメディア伝送時のメディア同期性能について検討する。特に、蓄積メディア同期制御方式と整合性のあるライブメディア同期制御方式を考える。

第3章および第4章では、PHSによる蓄積メディア伝送時のメディア同期性能について検討を行った。特に、メディア同期制御方式としてスライド制御を提案し、その有効性を確認した。しかしながら、マルチメディア通信においては、蓄積メディアに加えて、ライブメディアの伝送も重要な構成要素である。特に、テレビ会議等では、両者を切り換えて使用することも考えられる。従って、一つのメディア同期制御方式でライブメディアと蓄積メディアを同時に扱えるようにする必要がある。

そこで、蓄積メディアに適用したスライド制御をライブメディアの伝送にも適用することを考える。このとき、次のような課題が発生する。蓄積メディアの伝送では、スライド制御により目標出力時刻  $t_n^{(1)}$  を後方に変更することで、伝送遅延が増加するものの同期外れの発生頻度を少なくできた。しかしながら、ライブメディアの伝送では、できるだけ伝送遅延を小さくする必要がある。これが、蓄積メディアとライブメディアとで本質的に異なる点である。従って、メディア同期を良好に維持しつつ、どのように伝送遅延を削減するかが大きな課題となる。

更に、PHSでH.263圧縮ビデオ情報を伝送する場合、PHSの伝送容量とほぼ等しくなるようにH.263の符号発生量を制御することが多いため、ビデオフレームサイズの大小が、伝送遅延と共にメディア同期にも影響を及ぼす。蓄積メディアの伝送では、ネットワークの状態に応じて符号発生量を制御することが困難であった。しかしながら、ライブメディアの伝送では、ネットワークの状態に応じて符号発生量を容易に制御できる。従って、どのようにビデオフレームサイズや符号発生量を制御して、伝送遅延を小さくおさえるかも課題となる。

一方、文献[Mato96]は、PHSによるライブメディアの伝送において、受信したNAKパケット数に応じた時間的・空間的解像度制御方式を提案し、伝送遅延に対する考察を行っている。しかし、メディア同期に対する考察はなされていない。また文献[Ishi96b]では、目標出力時刻を変更するメディア同期制御方式を提案し、ATMネットワークにおけるライブメディアの伝送実験による評価を行っている。しかし、音声への影響を考慮したき

め細やかな制御はなされていない。

そこで本章では，H.263 圧縮ビデオ情報と 32 kbit/s ADPCM 音声情報を，それぞれ PHS の一つの通信チャネルを使用し，PHS 基地局を介して ISDN 端末と PHS 移動局間でライブ伝送する場合を考える．特に，ビデオは ARQ で，音声は無手順で伝送する（図 5.1）．

このとき，ビデオや音声のメディア内同期や，両者のメディア間同期を維持するために，受信側においてスライド制御を適用し，その拡張を試みる．特に，スライド制御により増加した伝送遅延を削減するために，目標出力時刻  $t_n^{(1)}$  を前方に変更できるようにスライド制御を拡張する．また，伝送遅延が大きくなりすぎないように，後方へのスライド制御を制限する．更に，送信側において，符号発生量やビデオフレームサイズを制御するために，空間的・時間的解像度制御を適用する．

そして，ランダム誤りとバースト誤りの各環境において，実際の H.263 圧縮ビデオ情報と ADPCM 音声情報を使用したシミュレーションを行い，メディア同期と伝送遅延の性能評価，および主観評価を行い，本提案方式の有効性を示す．

本章の構成は次のとおりである．5.2 節では提案方式について，5.3 節ではシミュレーションの仮定について述べる．5.4 節では数値結果と性能評価を報告する．

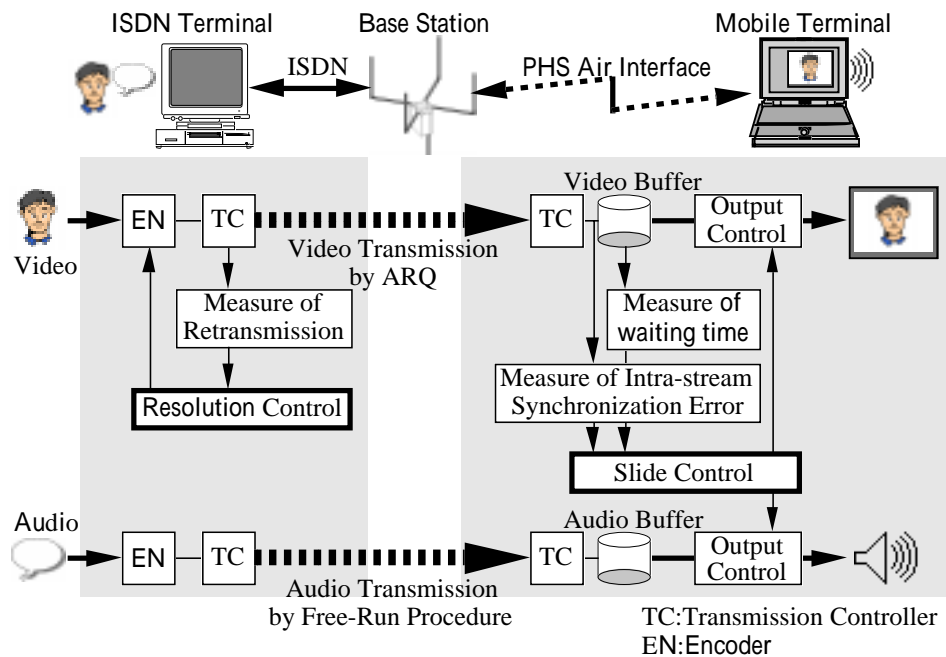


図5.1 PHSライブメディア伝送システム構成図

Fig. 5.1 Block diagram of the live media transmission system for PHS.

## 5.2 メディア同期制御方式

本章では、蓄積メディア同期制御方式と整合性のあるライブメディア同期制御方式を考える。そのため、蓄積メディアの伝送に適用したスライド制御を、ライブメディアの伝送にも適用し、更にライブメディアの特性を考慮した改良を加える。

### 5.2.1 スライド制御の拡張

蓄積メディアの伝送では、ビデオと音声のメディア間同期を制御するために、スライド制御を適用した。これは、ビデオMU到着時(到着時刻  $A_n^{(1)}$ )におけるビデオのメディア内同期ずれ時間  $t_n^{(1)} (= A_n^{(1)} - t_n^{(1)})$  を計測し、その値に応じて目標出力時間  $t_n^{(i)}$  をスライド時間  $S_n^{(i)}$  だけ遅らせるものである。本章ではこれを、後方へのスライド制御と呼ぶ(図5.2(a))。なお、 $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$  の値が正の場合に、後方へのスライド制御が実行される。この方式は、伝送遅延が増加するものの、同期外れの発生頻度を少なくできた。しかしながら、ライブメディアの伝送においては、できるだけ伝送遅延を小さくする必要がある。

そこで、後方へのスライド制御により増加した伝送遅延を削減することを考える。ここで、各ビデオMU到着時における  $A_n^{(1)}$  と  $t_n^{(1)}$  の差 ( $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$ ) に再度注目する。この値が負で、かつ絶対値が大きいことは、伝送遅延が大きな状態でメディア同期を維持していると考えられる。従って、ビデオMU到着時に、 $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$  の値に応じて  $t_n^{(i)}$  を  $S_n^{(i)}$  だ

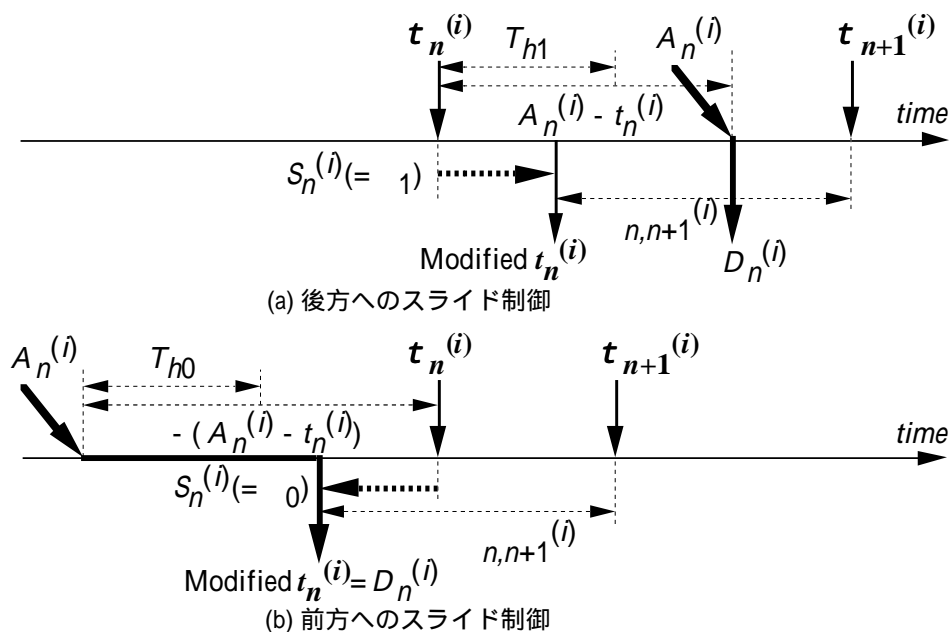


図5.2 スライド制御

Fig. 5.2 Slide control scheme.

け前方に変更できるようにスライド制御方式を拡張する。本章ではこれを前方へのスライド制御と呼ぶ(図5.2(b))。なお、 $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$ の値が負の場合に、前方へのスライド制御が実行される。これにより、例えば、一時的な通信環境の悪化に伴い、後方へのスライド制御が実行され、伝送遅延が増加したとしても、通信環境が回復した後に、伝送遅延を再び削減できる。

つぎに、後方へのスライド制御により大きな伝送遅延が発生しないように、後方へのスライド制御を制限することを考える。ここで、後方へのスライド許容時間を  $S_n^{(1)}$  と定義する。そして、総スライド時間  $S_n^{(1)} (= S_{n-1}^{(1)} + S_n^{(1)})$  が  $T_{h0}$  を超える場合には、後方へのスライド制御の実行を禁止する。

なお、第4章で提案した受信バッファのビデオ情報量を利用した後方へのスライド制御は、伝送遅延の増加をまねくため、ライブメディアの伝送では適用しないこととする。

ところで、蓄積メディアの伝送におけるスライド制御では、出力時刻の変更が音声に及ぼす影響を考慮し、Gradual recovery と Fast recovery の二種類の変更方法を採用した。Gradual recovery は、音声への影響を小さくするために、 $t_n^{(1)}$ を少しずつ変更して徐々にメディア間同期を修復する。また Fast recovery は、音声への影響は大きいけれども、 $t_n^{(1)}$ を一度に大きく変更し、早急にメディア間同期を修復する。ライブメディアの伝送を扱う本章では、後方へのスライド制御には、伝送遅延が一度に大きく増加しないように Gradual recovery のみを適用する。また、前方へのスライド制御にも、音声への影響を小さくするために Gradual recovery を適用する。

ここで、前方へのスライド制御を実行するための  $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$ のしきい値を  $-T_{h0}$  (なお、 $T_{h0} > 0$ )、そのスライド時間を  $S_0^{(1)}$  ( $< 0$ )、スライド制御を実行できる最小許容時間間隔を  $T_{m0}$  と定義する。また、第3章や第4章と同様に、Gradual recovery による後方へのスライド制御を実行するための  $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$ のしきい値を  $T_{h1}$  ( $> 0$ )、そのスライド時間を  $S_1^{(1)}$  ( $> 0$ )、スライド制御を実行できる最小許容時間間隔を  $T_{m1}$  と定義する。このとき、以下の条件に応じてスライド制御を実行する。

- (a)  $T_{h1} < A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$ , かつ  $S_{n-1}^{(1)} + S_n^{(1)} < T_{m1}$  :  
後方にスライド制御を実行する。なお、1ビデオ MU に対し一回のスライド制御しか実行されず、 $S_n^{(1)} = S_m^{(2)} = S_1^{(1)}$  となる(図5.2(a)に対応)。
- (b)  $A_n^{(1)} - t_n^{(1)} < -T_{h0}$  :  
前方にスライド制御を実行する。なお、(a)と同様に  $S_n^{(1)} = S_m^{(2)} = S_0^{(1)}$  となる(図5.2(b)に対応)。
- (c) 上記(a),(b)以外の場合 :  
スライド制御を実行せず。

一方、メディア同期の基準時刻の決定方法にも注意が必要である。蓄積メディアの伝送では、最初のビデオ MU の  $A_1^{(1)}$  に、到着してから出力されるまでの出力待ち時間  $T_{d1}^{(1)}$  を加えて、基準時刻を決めていた。しかし、伝送遅延に制約があるライブメディアの伝送に同じ方法を適用すると、最初のビデオ MU サイズが、基準時刻の決定に大きな影響を与えてしまう。特に、H.263 ビデオ情報の最初のビデオ MU は、MU サイズが大きな I フレームである。そのため、蓄積メディアと同様に基準時刻を決めると、通信開始時に伝



送遅延が大きくなってしまふ。また，最初のビデオ MU を受信しなければ，音声 MU を出力できないため，BER が悪い環境では，音声の MU 遅延が大きくなってしまふ。そこで，ライブメディアの伝送では，最初の音声 MU の  $A_1^{(2)}$  に  $\tau_1^{(2)}$  を加えて，基準時刻を決めることとする。なお，本章では  $\tau_1^{(2)}$  を 0 と仮定する。

## 5.2.2 空間的・時間的解像度制御

PHS でビデオ伝送を行う場合，H.263 の符号発生量は PHS の伝送容量とほぼ等しくなるように制御されることが多い。例えば，送信側において，空間的・時間的解像度制御を適用し，符号発生量を制御することが一般的に行われている。このとき，MU サイズの大小が伝送遅延やメディア同期に影響を及ぼすため，どのように MU サイズや符号発生量を制御するかが課題となる。

文献[Itu95]は，ネットワークの伝送速度を固定値と仮定した場合における空間的・時間的解像度制御方式を規定している。まず，空間的解像度制御では，目標 MU レートを定め，各ビデオ MU の MU サイズが，伝送速度と目標 MU レートから定まる目標 MU サイズに近くなるように，量子化特性を制御している。特に，直前のビデオ MU の量子化特性や MU サイズに加え，マクロブロックごとの符号発生量を計算し，マクロブロック単位で量子化特性を制御している。一方，時間的解像度制御では，送信バッファのビデオ情報量を，各ビデオソースのサンプル時刻ごとに計算で求め，この値があるしきい値より小さくなるサンプル時刻までフレームスキップを行っている。しかしながら，送信バッファのビデオ情報量は，ネットワークの伝送速度が固定値であると仮定して計算されており，再送等による通信状態の変化には対応していない。

文献[Mato96]は文献[Itu95]を拡張し，再送回数に応じて，時間的解像度と空間的解像度の両方を制御する方式を提案している。しかしながら，再送回数に応じて量子化特性を直接変更する空間的解像度制御は，画質の大幅な劣化を引き起こす可能性がある。また，動きがあるビデオソース等では，量子化特性を変更しても，符号発生量が削減されるとは限らない。

そこで本章では，再送等による通信状態の変化を考慮した時間的解像度制御と，これを考慮しない空間的解像度制御を適用することを考える。

まず，時間的解像度制御では，文献[Itu95]の方式に再送による通信状態の変化を考慮した拡張を行う。すなわち，ビデオソースをサンプルするごとに，送信バッファのビデオ情報量を実際に計測し，その値があるしきい値より小さければ，そのビデオフレームを符号化する。このとき，実際に計測した送信バッファのビデオ情報量は，再送の影響を直接反映しており，通信状態に十分よく対応した符号発生量の削減を確実に期待できる。

一方，空間的解像度制御として，再送を考慮しない文献[Itu95]と同じ方式を採用する。すなわち，各ビデオ MU のサイズが，目標 MU サイズに近くなるように，量子化特性を制御する。これにより，通信状態の悪化により，画質までもが大幅に劣化してしまうことを回避できる。

## 5.3 シミュレーションの仮定

### 5.3.1 伝送制御方式の仮定

各メディアの伝送に使用する伝送制御方式に関し、以下の仮定を置く。

#### (1) ビデオ情報の伝送

PHSの32 kbit/s非制限デジタルベアラサービスにおいて、SR-ARQを採用する。特に、PIAFSと同様の誤り制御方式の適用を仮定する。

#### (2) 音声情報の伝送

32 kbit/s ADPCM音声情報は、ビデオとは別の通信チャネルにおいて、通話サービスを利用して無手順で伝送する。

### 5.3.2 通信環境の仮定

ランダム誤り環境およびバースト誤り環境におけるシミュレーションを行うにあたり、以下の仮定を置く。

**A1.** ビット誤りは、基地局と移動局間の無線部における情報チャンネルTCHのみに発生する。ISDN端末と基地局間の有線部におけるビット誤りは無視する。

**A2.** ランダム誤り環境におけるビット誤りの発生は、幾何分布に従う。

**A3.** バースト誤り環境として二状態マルコフ連鎖モデル(ギルバートモデル)を適用する[Luck68]。なお、バースト状態から良好状態への遷移確率 $\alpha$ 、良好状態からバースト状態への遷移確率 $\beta$ は、フェージング周波数8 Hz(歩行時に相当)における各受信レベルとビット誤り率(BER)、平均バースト長の測定結果から算出した[Fuji94]。また、バースト状態と良好状態間の状態遷移の発生は、幾何分布に従う。

**A4.** ISDN端末と基地局間の伝搬遅延時間、およびARQフレーミングによる処理遅延時間の合計を20 msと仮定する。また、基地局と移動局間の無線部において電波伝搬遅延は無視する。

**A5.** ACK/NACK等のARQ制御情報には誤りが発生しないものとし、また再送要求の廃棄は行わない。

### 5.3.3 ライブメディアの仮定

シミュレーションで使用するH.263圧縮ビデオ情報とADPCM音声情報の作成に関し、以下の仮定を置く。

**A1.** H.263で規定された四つのコーディング・オプションは、いずれも使用しない。

**A2.** 1ビデオフレームを1ビデオMUとする。

**A3.** ビデオの目標符号発生レートを29.2 kbit/sとする。この値は、ビデオ伝送におけるスループットの最大値に等しい。また、目標MUレートを15 MU/sとする。従って、目標MUサイズは1,947 bitとなる。

**A4.**  $n$  番目のビデオ MU の発生時刻  $T_n^{(1)}$  は、符号化時にビデオフレームに設定された Temporal Reference( $TR_n$ )により、次式で与える。但し、 $TR_1$ (最初のビデオフレームのTR)を0とする。

$$T_n^{(1)} = TR_n / 30$$

**A5.** 音声の1MUサイズを1,600 bit、MU発生レートを20 MU/sの固定値とし、 $n$  番目のMUの発生時刻  $T_n^{(2)}$ を次式で与える。

$$T_n^{(2)} = (n - 1) / 20$$

**A6.** 使用したライブメディアの諸元を以下のようにする。

- |          |           |                 |
|----------|-----------|-----------------|
| ・メディアソース | 人の上半身の画像  | (テレビ電話を想定)      |
| ・画像サイズ   | sub-QCIF  | (128 × 96 ピクセル) |
| ・ソース時間   | 120.767 s |                 |

#### 5.3.4 メディア同期制御の仮定

メディア同期制御に関し、以下の仮定を置く。

**A1.** 後方へのスライド制御において、しきい値  $T_{h1}$  によるスライド時間  $t_1$  は 50 ms、最小許容時間間隔  $t_{1c}$  は 1 s とする。この値は、スライド制御実行時に音声情報を巻き戻して出力する場合に、その音声が違和感の少ないエコーとして聞こえるように選んだ。特に  $t_1$  は、伝送遅延を小さくするために、蓄積メディアの場合 ( $t_1 = 100$  ms) よりも小さい値を選択した。なお、しきい値  $T_{h1}$  は、蓄積メディアの場合と同じ値である 100 ms とする。また、スライド許容時間  $t_{1c}$  は 250 ms とする。この値は静止衛星回線のラウンドトリップ伝送遅延 (約 270 ms) を基準に定めた。

なお、Fast recovery のしきい値  $T_{h2}$  は、ビデオの受信バッファ占有率による Gradual recovery のしきい値  $T_{hQ}$  は - とし、いずれも実行不可とする。

**A2.** 前方へのスライド制御において、しきい値  $T_{h0}$  によるスライド時間  $t_0$  は - 50 ms、最小許容時間間隔  $t_{0c}$  は 1 s、しきい値  $T_{h0}$  は 100 ms とする。これらの値は、後方へのスライド制御の条件と対称になるように選定した。

**A3.** 第一音声 MU の出力待ち時間は、 $t_1^{(2)} = 0$  s とする。

### 5.3.5 評価システム

図5.3に実際のH.263圧縮ビデオ情報とADPCM音声情報を使用する評価システムのソフトウェア構成を示す。

H.263エンコーダは、シミュレーションプログラムからフィードバックされる再送回数を利用して、空間的・時間的解像度制御を適用しつつ、ビデオソースからH.263ビデオ情報を生成する。一方、シミュレーションプログラムは、通信プロトコルやエラー環境等のシミュレーションを行い、メディア内、およびメディア間同期ずれ時間、再送回数等を求め、各メディアの出力情報ファイルを生成する。特に、ADPCM音声情報にはエラー環境に応じたビット誤りを付加する。そして各メディアは、これらの出力情報ファイルをもとに出力制御されて再生される。なお、H.263圧縮符号化と情報ファイルの生成、および復号化と再生には、H.263ソフトウェアエンコーダ/デコーダ[Tele96b]を一部改造して使用した。

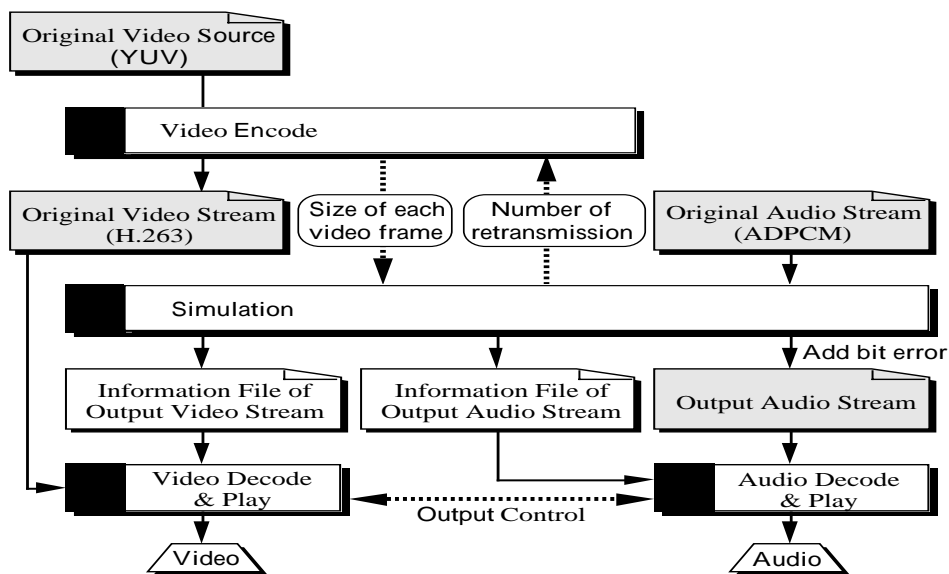


図5.3 評価システムの構成

Fig. 5.3 Block diagram of the evaluation system.

## 5.4 数値結果

ランダム誤り環境とバースト誤り環境の両方の通信環境におけるメディア同期性能を評価する。

### 5.4.1 ランダム誤り環境

ランダム誤り環境における評価結果を以下に示す。まず、SR-ARQによるビデオ通信チャネルのスループット特性は図5.4のとおりである。横軸はBERである。なおスループットは、単位時間あたりに送信が完了した情報量をPHSの伝送容量(32 kbit/s)で正規化したものとする。

#### (1) メディア同期性能の評価

図5.5にメディア間同期ずれ時間  $\sigma_n^{(1-2)}$ の2乗平均値の平方根(RMS: Root Mean Square), 図5.6にビデオの平均MU出力レート, 図5.7にビデオのメディア内同期ずれ時間  $\sigma_n^{(1)}$ のRMS, 図5.8に音声のメディア内同期ずれ時間  $\sigma_m^{(2)}$ のRMSを, BERとの関係で示す。平均MU出力レートは, 受信側で単位時間あたりに出力したMU数の平均値と定義する。また各図において, □印はスライド制御を適用した場合(SC: Slide Control), ×印は適用しない場合(NC: No Control)を示す。但し, "NC"の場合でも, ビデオには目標出力時刻  $t_n^{(1)}$ と到着時刻  $A_n^{(1)}$ の関係に応じたメディア内同期制御を行うものとする。このとき  $S_n^{(i)}$ は常に0である。また, ビデオにもメディア内同期制御を行わない方式も考えられるが, この方式は本章の"NC"よりも更に性能が悪くなる。

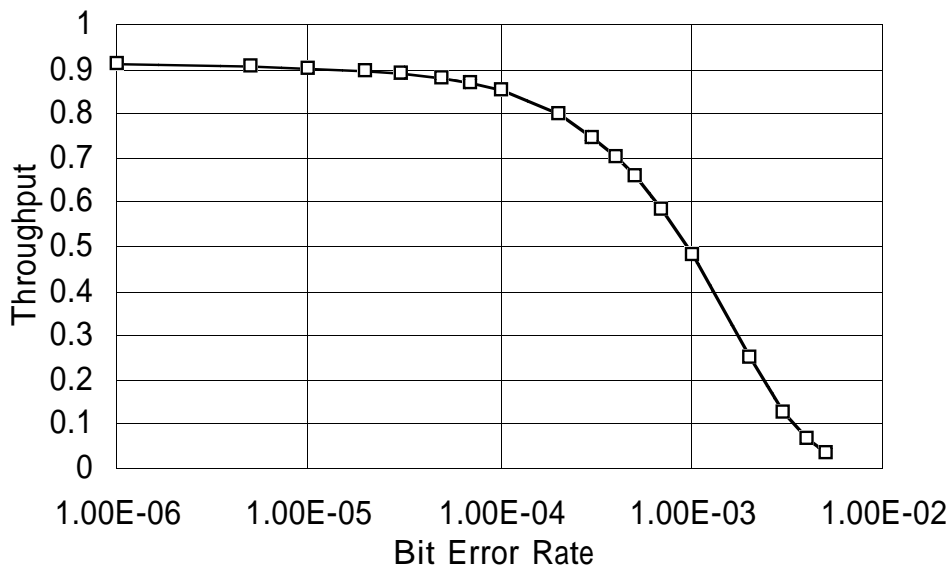


図5.4 スループット(ランダム誤り環境)

Fig. 5.4 Throughput in random error environment.

まず、ライブメディアの伝送においても、スライド制御がメディア同期に有効であるかどうかを調べる。図5.5によれば、スライド制御の適用によりメディア間同期が改善できることがわかる。

ここでメディア間同期性能を評価するために、文献[Stein96]の結果を引用する。これは、メディア間同期ずれ時間が80 ms以内であればメディア間同期は良好な状態であり、160 ms以上であれば同期外れの状態であると報告している。例えばBERが $1.0 \times 10^{-3}$ 以下において、スライド制御を適用すれば、メディア間同期ずれ時間のRMSを76 ms以下("NC"では109 ms以下)におさえられ、良好なメディア間同期を維持できる。このとき、ビデオの平均MU出力レート(図5.6)は8.3 MU/s以上を確保でき、十分動きのある画像を得ることができる。一方、BERが $2.0 \times 10^{-3}$ 以上では、スライド制御を適用してもメディア間同期ずれ時間のRMSが246 ms以上となり、同期外れの状態となる。このとき、ビデオの平均MU出力レートは4.39 MU/s以下である。従って、BERが $2.0 \times 10^{-3}$ 以上では、もはや同期性能を議論できる状況にないと言える。

なお、スライド制御を適用しない場合でも、BERが $5.0 \times 10^{-4}$ という比較的悪い通信環境において、メディア間同期ずれ時間のRMSは68 ms以下であり、良好なメディア間同期を維持できる。これは、再送回数を考慮したビデオの時間的解像度制御により、あるビデオMUの伝送遅延の影響が次のビデオMUでは少なくなるようにビデオフレームをスキップしたためである。

つぎに、メディア内同期の性能を調べる。図5.7によれば、スライド制御の適用によりビデオのメディア内同期も改善される。例えば、BER =  $1.0 \times 10^{-3}$ 以下において、ビデオのメディア内同期ずれ時間のRMSは78 ms以下("NC"では106 ms以下)である。

一方、音声のメディア内同期はスライド制御の適用により大きくなる(図5.8)。しかしながら、音声のメディア内同期ずれ時間のRMSは最大でも9 msであり、ビデオのメディア内同期ずれと比較すれば十分小さな値である。なお、BERが $1.0 \times 10^{-3}$ 以上において、音声のメディア内同期ずれ時間のRMSが減少するのは、後方へのスライド許容時間によりスライド制御の発生が抑制されたためである。

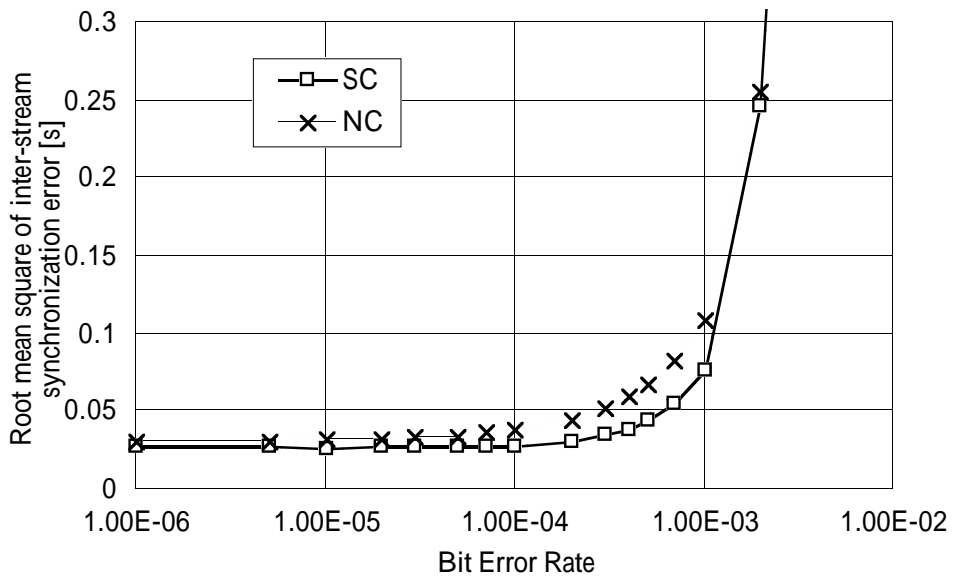


図5.5  $n^{(1-2)}$ のRMS(ランダム誤り環境)  
 Fig. 5.5 Root mean square of  $n^{(1-2)}$ .

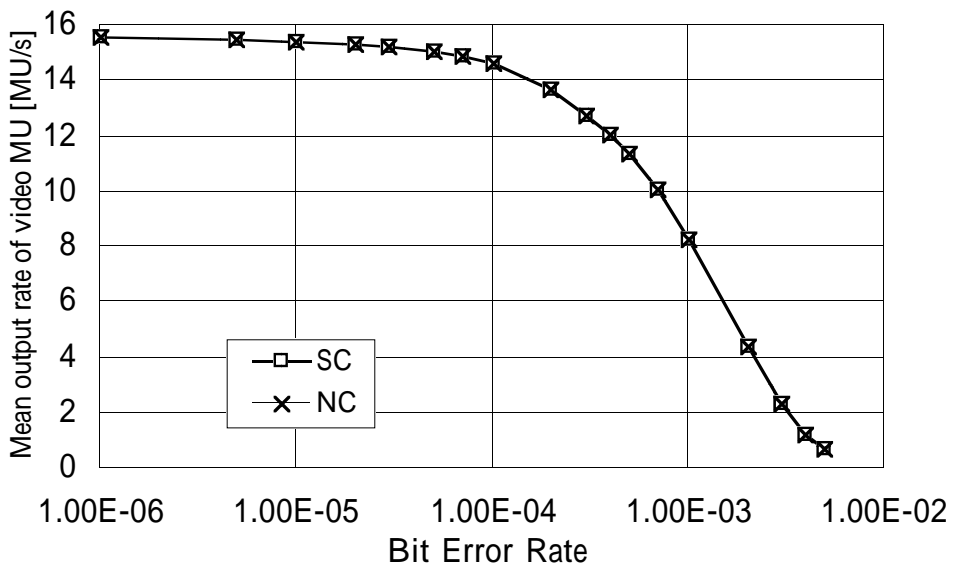


図5.6 ビデオの平均MU出力レート(ランダム誤り環境)  
 Fig. 5.6 Mean output rate of video MU.

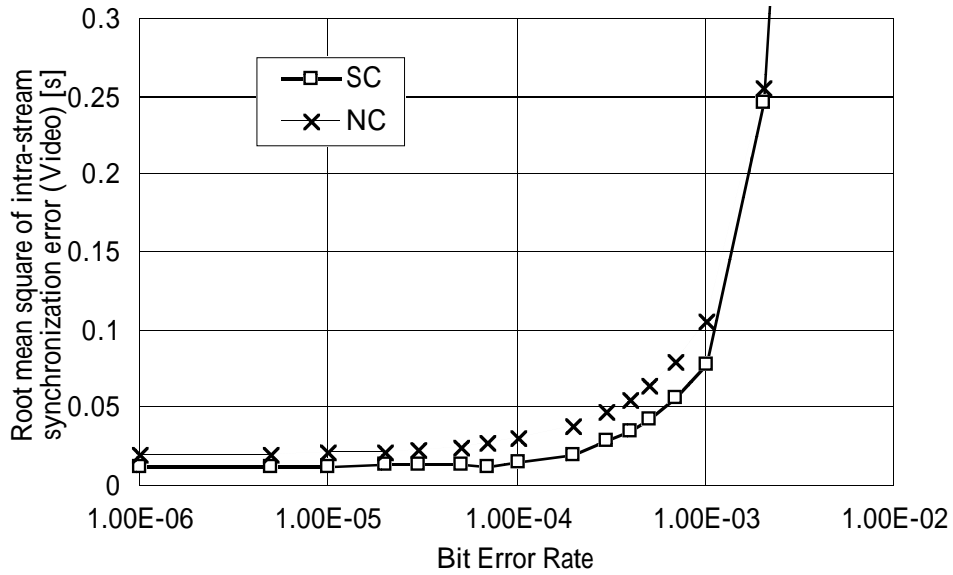


図5.7 ビデオの  $n^{(1)}$  のRMS(ランダム誤り環境)

Fig. 5.7 Root mean square of  $n^{(1)}$ .

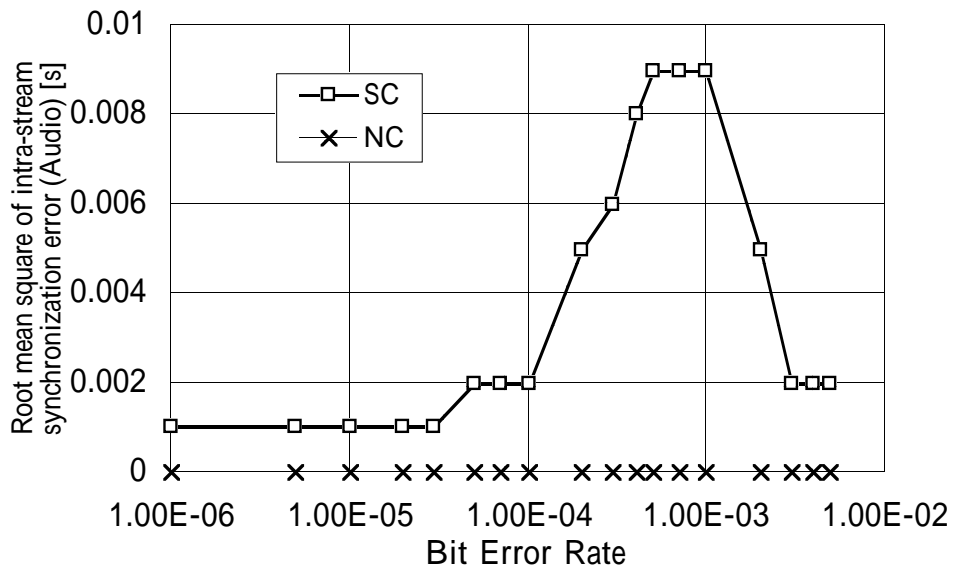


図5.8 音声の  $m^{(2)}$  のRMS(ランダム誤り環境)

Fig. 5.8 Root mean square of  $m^{(2)}$ .



## (2) 平均 MU 遅延時間

つぎに，スライド制御が伝送遅延にどのような影響を及ぼすかを調べる．図5.9に音声の平均 MU 遅延時間，図5.10にビデオの平均 MU 遅延時間を，BER との関係で示す．なお，平均 MU 遅延時間は，出力時刻  $D_n^{(i)}$  と発生時刻  $T_n^{(i)}$  の差の平均値と定義する．

図5.9によれば，音声の平均 MU 遅延時間は，スライド制御を適用しなければ，BERによらず常に一定の値(70 ms)である．しかし，スライド制御を適用すると，BERが大きくなるにつれて平均 MU 遅延時間も大きくなる．これは，BERの増加に伴い，再送によるビデオのメディア内同期ずれが頻繁に発生し，後方へのスライド制御も多く発生するためである．しかしながら，例えばBERが極端に悪い状況になったとしても，音声の平均 MU 遅延時間は，静止衛星回線のラウンドトリップ伝送遅延(約 270 ms)にほぼ等しい値である 262 ms以下に抑制される．これは，後方へのスライド許容時間 (= 250 ms)により，スライド制御の発生を制限したためである．

また，図5.10によれば，ビデオの平均 MU 遅延時間はスライド制御の適用により増加する．しかしながら，BERが  $1.0 \times 10^{-3}$ 以下において 265 ms以下であり，音声の平均 MU 遅延時間と同程度におさえられる．一方，BERが  $2.0 \times 10^{-3}$ 以上では，スライド制御の適用の有無にかかわらずビデオの平均 MU 遅延時間は増大する．

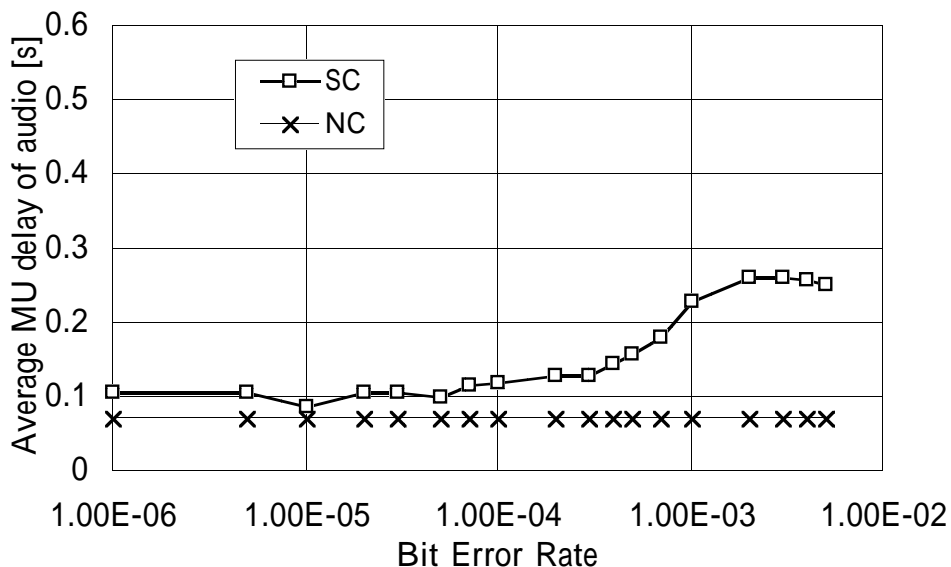


図5.9 音声の平均MU遅延時間(ランダム誤り環境)

Fig. 5.9 Average MU delay of audio.

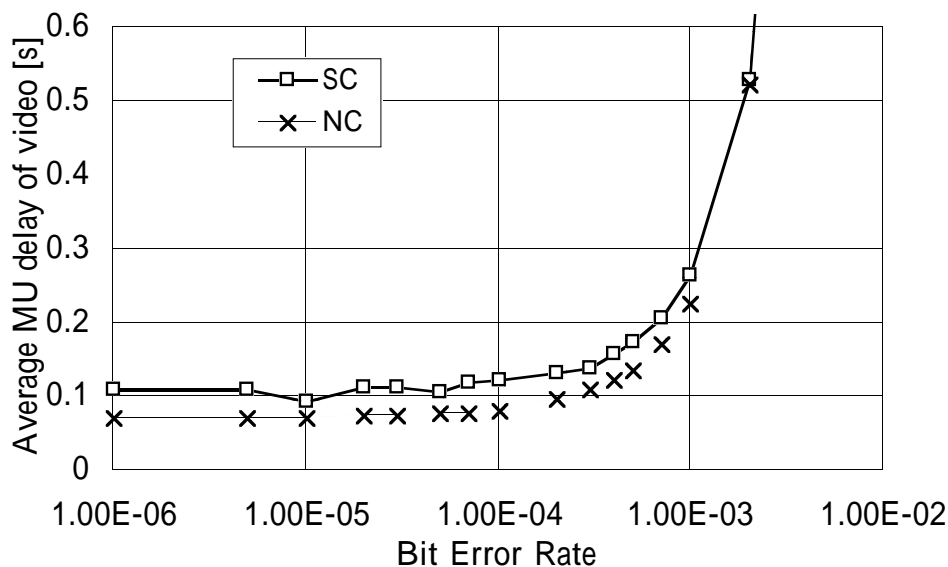


図5.10 ビデオの平均MU遅延時間(ランダム誤り環境)

Fig. 5.10 Average MU delay of video.

### (3) 主観評価

つぎに、スライド制御が音声とビデオに及ぼす影響を主観的に評価する。

まず、音声の品質について主観評価を行う。後方へのスライド制御時の音声は、スライド時間( $t_1 = 50 \text{ ms}$ )に相当する量だけの音声情報を巻き戻して出力することで、違和感の少ないエコーとして聞こえる。しかし、前方へのスライド制御時の音声は、スライド時間が $t_0 = 50 \text{ ms}$ と小さいにもかかわらず、音飛びとして認識される。しかしながら、音声は無手順で伝送されるため、ビット誤りにより音声にノイズが付加される。このノイズと音飛びは主観的には区別が付きにくい。従って、前方へのスライド制御による音声品質の低下は、顕著には感じられない。なお、音飛びの影響を少なくするために、無音状態を検出し、無音時に前方へのスライド制御を行うことも考えられる。

つぎに、ビデオの品質について主観評価を行う。後方へのスライド制御によりビデオの出力はポーズする。また、前方へのスライド制御によりビデオの出力は早送りとなる。しかし、スライド時間が $50 \text{ ms}$ と小さいため、主観的にはほとんど影響がない。

#### (4) 空間的解像度制御の画質への影響

更に、空間的解像度制御が画質に及ぼす影響を調べる。図5.11に量子化器情報 (*PQUANT*: Quantizer Information for P-picture)の平均値 (□, △印でプロット)、およびビデオMUサイズの平均値 (■, ▲印でプロット)とBERの関係を示す。なお、四角印はスライド制御を適用した場合、三角印は適用しない場合を示す。また、*PQUANT*は、符号化時に各ビデオフレームの中に設定されており、量子化ステップサイズの半分の値(1から31)である。

これによれば、BERが $1.0 \times 10^{-3}$ 以下では、量子化器情報は10~11程度とほぼ一定であり、また、ビデオのMUサイズも目標MUサイズ(1,947 bit)によく制御されている。このとき、実際の画像を観察してみても、通信環境の悪化に伴う画質の劣化は少ない。しかしながら、BERが $2.0 \times 10^{-3}$ 以上では、BERの悪化に伴い量子化器情報が急激に大きくなる。これは、平均MU出力レートの低下(4.4 MU/s以下：図5.6)に伴いフレーム間の相関が少なくなり、目標MUサイズに近くなるように空間的解像度制御を行うには、量子化ステップサイズを大きくせざるを得なかったためである。

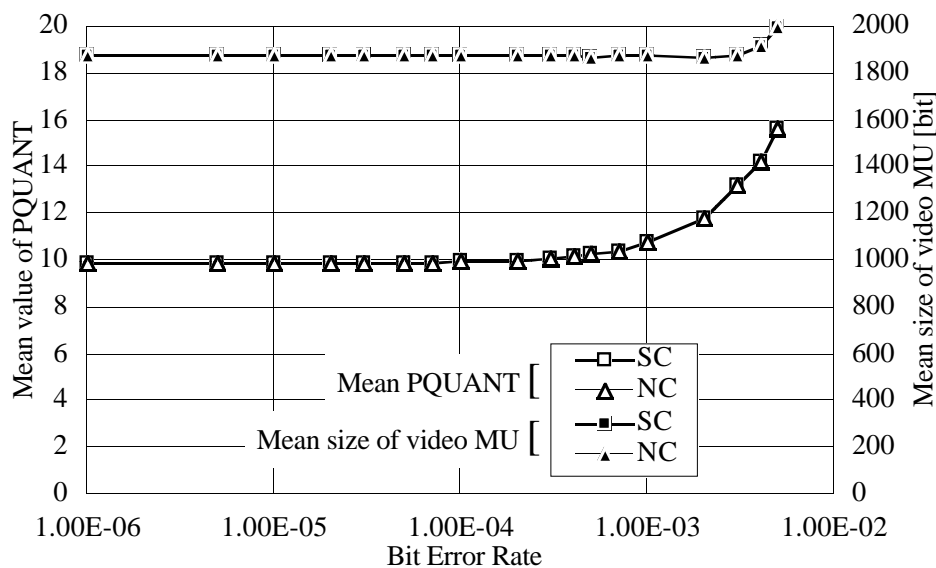


図5.11 量子化器情報の平均値とビデオMUサイズの平均値

Fig. 5.11 Mean value of *PQUANT* & Mean size of Video MU.

#### (5) 後方へのスライド許容時間 の影響

図 5.12 に音声の平均 MU 遅延時間，図 5.13 にメディア間同期ずれ時間  $\sigma_n^{(1-2)}$  の RMS を，後方へのスライド許容時間 との関係で示す．ここで， ， ， 印は，それぞれ BER が  $1.0 \times 10^{-4}$ ， $5.0 \times 10^{-4}$ ， $1.0 \times 10^{-3}$  の場合を示す．なお， = 0 ms は "NC" と等価である．

これによれば，メディア間同期と音声の平均 MU 遅延は， をパラメータにしてトレードオフの関係にあることがわかる．すなわち， を大きくすればメディア間同期ずれ時間の RMS は小さくなるが，音声の平均 MU 遅延が大きくなる．逆に， を小さくすれば音声の平均 MU 遅延は小さくなるが，メディア間同期ずれ時間の RMS が大きくなる．この傾向は，BER が大きいほど顕著である．

ところで，メディア間同期を保証するか，音声の MU 遅延を保証するかは，アプリケーションに応じて異なることが多い．例えば，リアルタイムの英会話レッスンのように，音声と口の動きを同期させる必要がある場合には，メディア間同期を保証する必要がある．また，活発なディスカッションを行う場合には，音声の MU 遅延を重視する必要がある．また，同じアプリケーションであっても，状況によっては保証するものが変わることも考えられる．

そこで，メディア間同期と音声の MU 遅延の双方をどの程度保証するかを調整するために，後方へのスライド許容時間 を使用することを考える．例えば，BER が  $1.0 \times 10^{-3}$  以下の通信環境において，良好なメディア間同期（80 ms 以下）を実現したければ， を 250 ms 以上に設定すればよい．但し，音声の平均 MU 遅延は 228 ms 以上になる．また，音声の平均 MU 遅延を小さくしたければ， を更に小さく，若しくは 0 に設定すればよい．但し，メディア間同期性能は低下する．このように，後方へのスライド許容時間 を使用すれば，アプリケーションや状況に応じて，メディア間同期と音声の MU 遅延の性能をどの程度保証するかを調整できる．

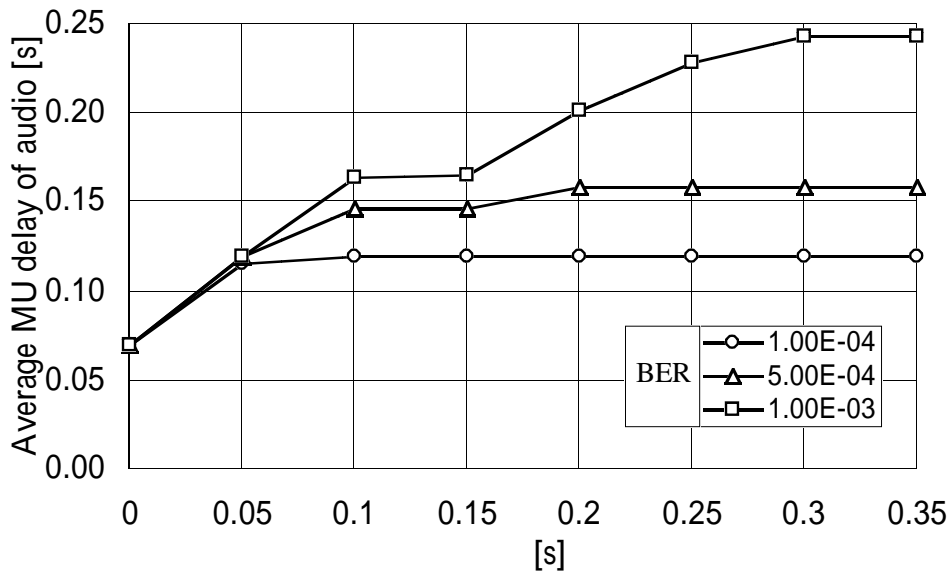


図5.12 音声の平均MU遅延時間と の関係

Fig. 5.12 Average MU delay of audio versus .

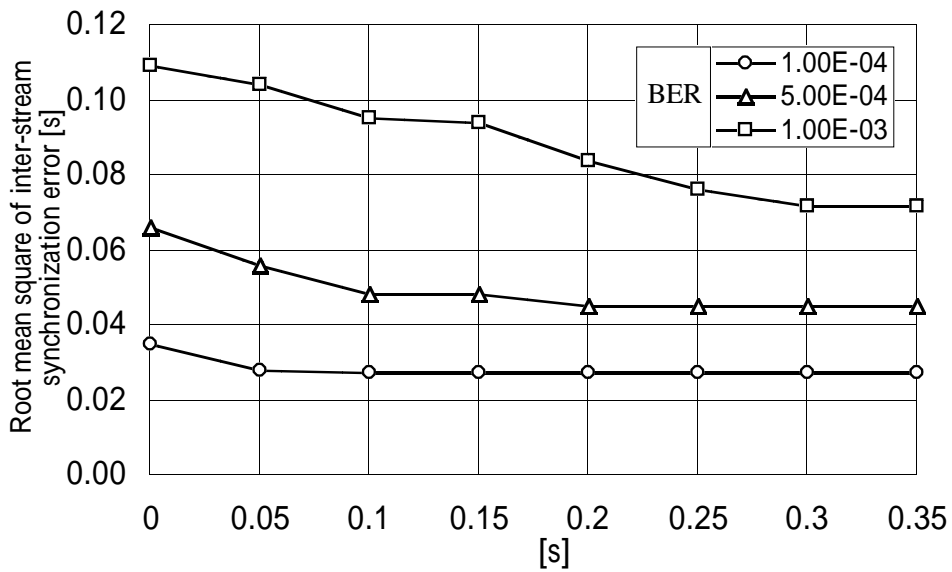


図5.13  $n^{(1-2)}$  のRMSと の関係

Fig. 5.13 Root mean square of  $n^{(1-2)}$  versus .

### 5.4.2 バースト誤り環境

つぎにバースト誤り環境における評価結果を示す。まず，SR-ARQ によるビデオ通信チャンネルのスループット特性は図 5.14 のとおりである。横軸は受信レベルである。

#### (1) メディア同期と MU 遅延時間

図 5.15 にメディア間同期ずれ時間  $\tau_n^{(1-2)}$  の RMS，図 5.16 にビデオのメディア内同期ずれ時間  $\tau_n^{(1)}$  の RMS，図 5.17 に音声のメディア内同期ずれ時間  $\tau_m^{(2)}$  の RMS，図 5.18 に音声の平均 MU 遅延時間，図 5.19 にビデオの平均 MU 遅延時間を，受信レベルとの関係で示す。

これによれば，スライド制御はバースト誤り環境においてもメディア間同期(図 5.15)，およびビデオのメディア内同期(図 5.16)に対して効果的であると言える。また，スライド制御は音声のメディア内同期を乱すものの，その値は十分小さい(図 5.17)。更に，ビデオや音声の平均 MU 遅延時間は増加する(図 5.18，図 5.19)。しかしながら，低受信レベルにおける音声の平均 MU 遅延時間の増加は，後方へのスライド許容時間により抑制できる。

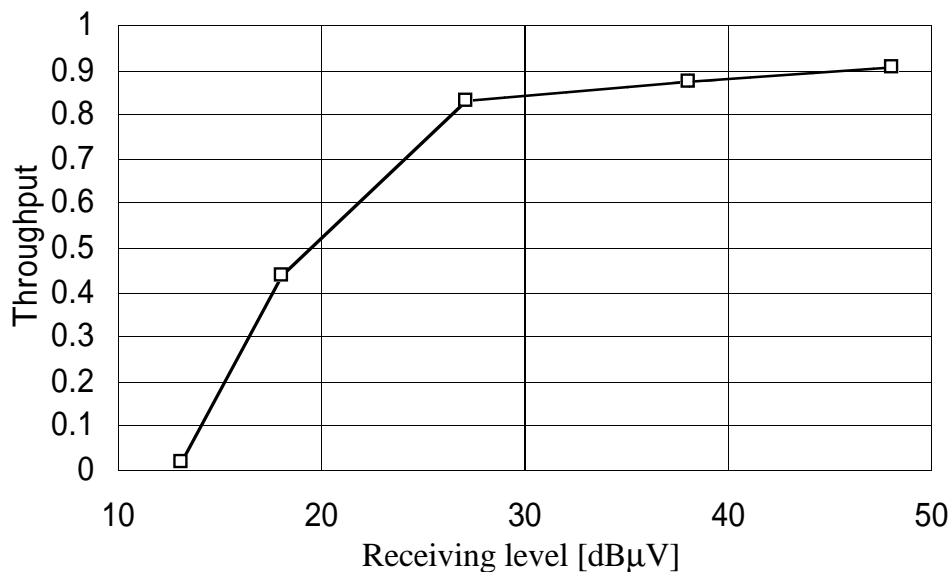


図5.14 スループット(バースト誤り環境)

Fig. 5.14 Throughput in burst error environment.

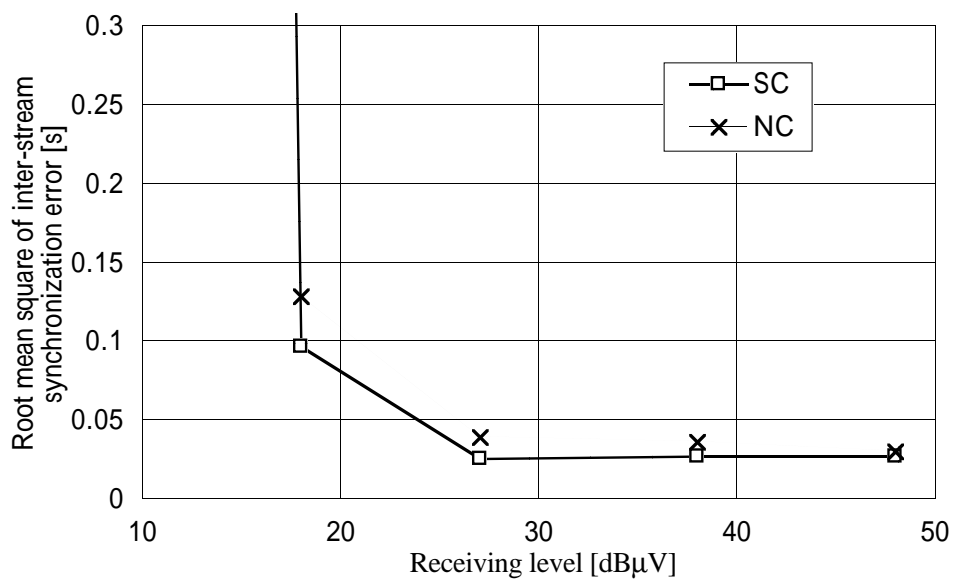


図5.15  $n^{(1-2)}$ のRMS(バースト誤り環境)

Fig. 5.15 Root mean square of  $n^{(1-2)}$ .

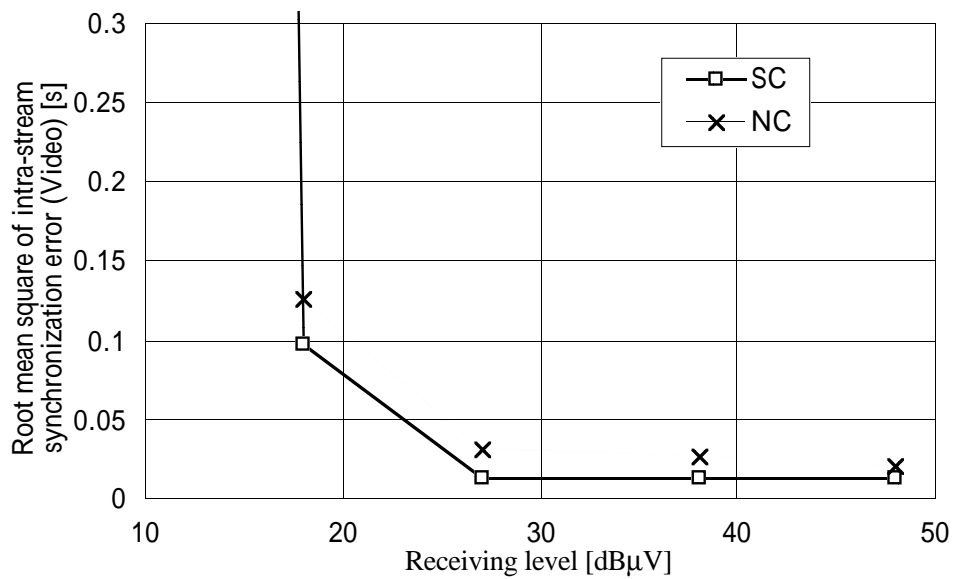


図5.16 ビデオの  $n^{(1)}$ のRMS(バースト誤り環境)

Fig. 5.16 Root mean square of  $n^{(1)}$ .

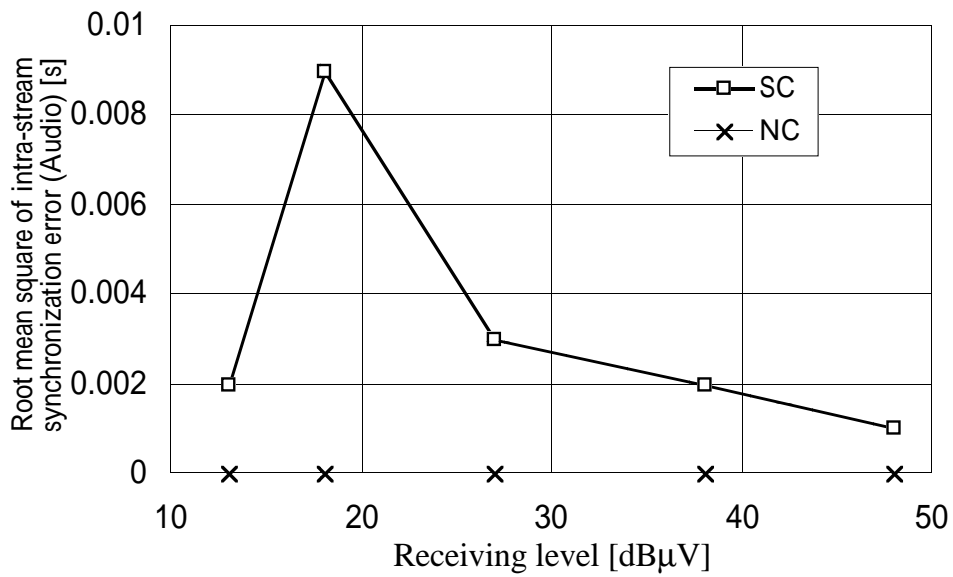


図5.17 音声の  $m^{(2)}$  のRMS(バースト誤り環境)

Fig. 5.17 Root mean square of  $m^{(2)}$ .

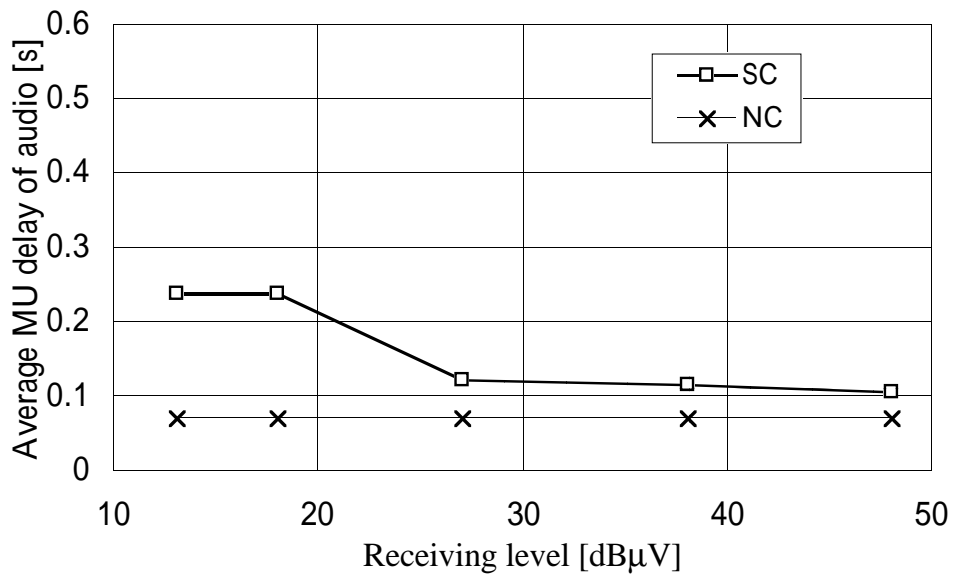


図5.18 音声の平均MU遅延時間(バースト誤り環境)

Fig. 5.18 Average MU delay of audio.



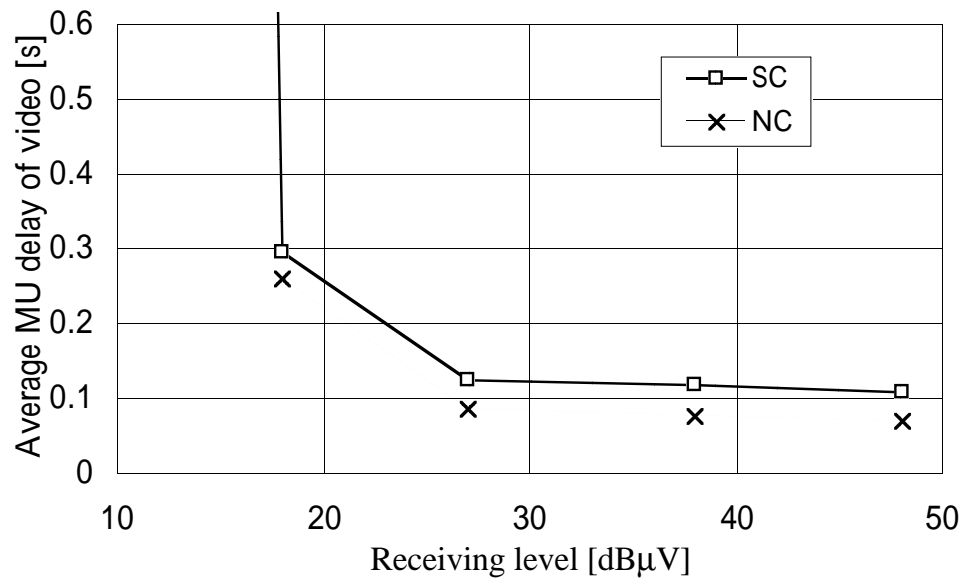


図5.19 ビデオの平均MU遅延時間(バースト誤り環境)

**Fig. 5.19** Average MU delay of video.

## (2) スライド制御の時間的経過

総スライド時間  $S_n^{(1)}$  は、出力側での基準時刻の変化量を表しており、音声の MU 遅延の状態を示す評価尺度として利用できる。そこで図 5.20 に、受信状態が比較的悪い受信レベル 18 dB $\mu$ V のバースト誤り環境における総スライド時間  $S_n^{(2)}$  とビデオの MU サイズの時間的变化を示す。

通信開始直後、 $S_n^{(2)}$  が 200 ms になるまで後方へのスライド制御が連続して発生している。これは、バースト誤りによる再送が頻繁に発生するだけでなく、最初のビデオ MU である 1 フレームの MU サイズ (8,720 bit) が大きいためである。

もし、後方へのスライド制御だけを適用したならば、音声の MU 遅延はその後大きな値を維持してしまう。しかし、前方へのスライド制御の適用により、ネットワークの状態に応じて音声の MU 遅延を再び減少できる。例えば、通信開始直後に 200 ms まで達した  $S_n^{(2)}$  は、100 ms まで減少することも数回発生している。

また、通信開始から 30 ~ 35 秒経過時、および 65 ~ 70 秒経過時、ビデオの MU サイズが一時的に大きくなっている。これは、ビデオのシーンが大きく変化したためである。このとき、MU サイズの増加よりやや遅れて、 $S_n^{(2)}$  も増加している。これは、ビデオの MU サイズの増大が、ビデオの MU 遅延の増加、およびメディア内同期ずれを引き起こし、そのビデオ MU を受信した後に後方へのスライド制御を実行したためである。

更に、ビデオの MU サイズが大きくないにもかかわらず、 $S_n^{(2)}$  が増加している。これは、バースト誤りによるビデオの伝送遅延がメディア内同期を乱し、後方へのスライド制御を実行したためである。すなわち、通信環境が良好状態からバースト状態に遷移すると、

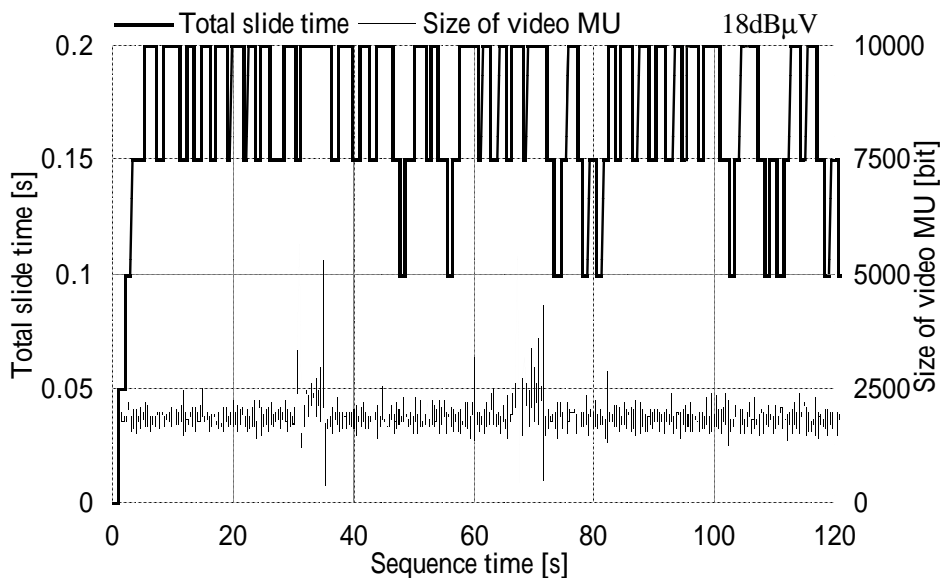


図5.20 総スライド時間とビデオMUサイズの時間的变化

Fig. 5.20 Progress of total slide time & size of video MU.

後方へのスライド制御が実行され、メディア間同期を維持しようとする。逆に、良好状態に遷移すると、前方へのスライド制御が実行され、メディア間同期を維持したままMU遅延を削減しようとする。

このように後方へのスライド制御は、ビデオのMUサイズの一時的な増加や再送が引き起こすメディア同期の乱れを吸収するのに有効である。更に、前方へのスライド制御は、後方へのスライド制御により増加したMU遅延を削減するのに有効である。

## 5.5 むすび

本章では、PHSの二つの通信チャンネルを使用し、ライブのH.263圧縮ビデオ情報をARQで、ADPCM音声情報を無手順で、リアルタイムに伝送しながら再生することを考えた。そして、ライブメディア同期制御方式と蓄積メディア同期制御方式の整合性を実現するために、蓄積メディアに適用したスライド制御を採用し、これにライブメディアの特性を考慮した拡張を行った。すなわち、前方へのスライド制御の追加、後方へのスライド制御の制限等の拡張を行った。更に、送信側において空間的・時間的解像度制御を適用した。そしてランダム誤りとバースト誤りの各環境下において、実際のビデオ/音声情報を使用したシミュレーションを行い、メディア同期や伝送遅延の性能評価、および主観評価を行った。その結果、次のような結論を得た。

拡張したスライド制御は、ランダム誤りとバースト誤りの両環境において、音声のメディア内同期を故意に乱すものの、ビデオのメディア内同期やメディア間同期の維持に有効である。また、ライブメディアの伝送で重要な評価基準である伝送遅延は、スライド制御の適用により大きくなる。しかしながら、後方へのスライド許容時間を適切に設定すれば、音声の平均MU遅延時間の増加を抑制できる。更に、メディア間同期と音声のMU遅延はトレードオフの関係にあり、後方へのスライド許容時間を使用すれば、どちらを保証するかを調整できる。

また、時間的解像度制御のみにおいて再送による影響を考慮すれば、通信環境の悪化に伴い、MU出力レートは低下するものの、量子化ステップの増加、すなわち画質の劣化を防ぐことができる。また、スライド制御が音声やビデオに及ぼす影響も、ほぼ良好であることを主観評価によって確認した。



## 第6章

# H.223 Annex 多重化プロトコル適用時の

# PHS ライブメディア同期性能評価

## 6.1 まえがき

ITU-Tで標準化された H.223 Annex [Itu98a],[Itu98b],[Itu98c]は、無線通信環境のような伝送誤りが起きやすい通信環境において、低ビットレートのマルチメディア通信を実現するための多重化プロトコルを規定している。従って、PHSでモバイルマルチメディア通信を実現するための一手法として、H.223 AnnexのPHSへの適用も考えられる。本章では、特に、H.223 Annex C [Itu98c]を PHS に適用した場合において、メディア同期性能を評価する。

H.223 Annexは、音声、ビデオ、データ等を一つの通信チャンネル上にインタリーブ多重化して伝送するものである。例えば、H.263 圧縮ビデオ情報は、一つの論理チャンネルを使用し、ARQ や FEC を適用して伝送される。また、G.723.1 [Itu96b] 音声情報は、同じ通信チャンネル上の別の論理チャンネルを使用し、無手順で伝送される。従って、ビデオ情報の再送による遅延揺らぎは、メディア同期を乱してしまう。しかしながら、H.223 Annex や関連する標準において、ネットワークの遅延揺らぎによるメディア同期の問題に関しては、十分な議論がなされていない。

第5章では、PHSにおけるライブメディアの伝送に適用するメディア同期制御方式として、スライド制御の拡張方式を提案した。そして、既にサービスが提供されている通話サービスと 32 kbit/s 非制限デジタルベアラサービスを利用し、音声とビデオを別々の通信チャンネルで伝送する場合において、スライド制御の有効性を確認した。しかしながら、H.223 Annexを適用し、ビデオと音声をインタリーブ多重化して一つの通信チャンネルで伝送する場合におけるスライド制御の有効性は明らかではない。

また第5章では、スライド制御により、伝送遅延をある程度犠牲にすれば、メディア同期の品質を改善できることを確認した。すなわち、メディア間同期性能と伝送遅延はトレードオフの関係にある。しかしながら、どちらの品質を保証するかは、アプリケーションの種類に応じて異なることが多い。例えば、英会話レッスンでは、メディア同期を保証すべきである。また、活発な議論を行う場合には、伝送遅延を小さくする必要がある。従って、ユーザの要求に応じてメディアの品質を保証するには、何らかのQOS(Quality of Service)制御が必要になる。

そこで本章では、H.223 Annexで規定された多重化プロトコルをPHSに適用する場合において、スライド制御の適用を考える。特に、PHSの64 kbit/s 非制限デジタルベアラサービスを利用する場合を考える。更に、伝送遅延とメディア同期性能を制御するために、後方へのスライド許容時間を利用したQOS制御を提案する。そして、シミュレーションにより、スライド制御とQOS制御の有効性を示す。

本章の構成は次のとおりである。6.2節では提案するスライド制御とQOS制御について述べる。6.3節ではシミュレーションの仮定について述べる。6.4節では数値結果と性能評価を報告する。

## 6.2 メディア同期メカニズム

### 6.2.1 H.223 Annex 多重化プロトコル

H.223 Annexは、伝送誤りが起きやすい通信環境において、低ビットレートのマルチメディア通信を実現するための多重化プロトコルを規定している。Annex A [Itu98a]、Annex B [Itu98b]、Annex C [Itu98c]は、誤りに対する性能や適用するアルゴリズムの複雑さの点で互いに異なる。特に、Annex Cは、無線通信環境のような非常に伝送誤りが発生しやすい通信環境を想定している。なお本章では、このAnnex Cの適用を考える。図6.1に、Annex Cのプロトコル構成を示す。これは、Adaptation Layer (AL)とMultiplex layer (MUX)の2つの異なるレイヤから構成される。

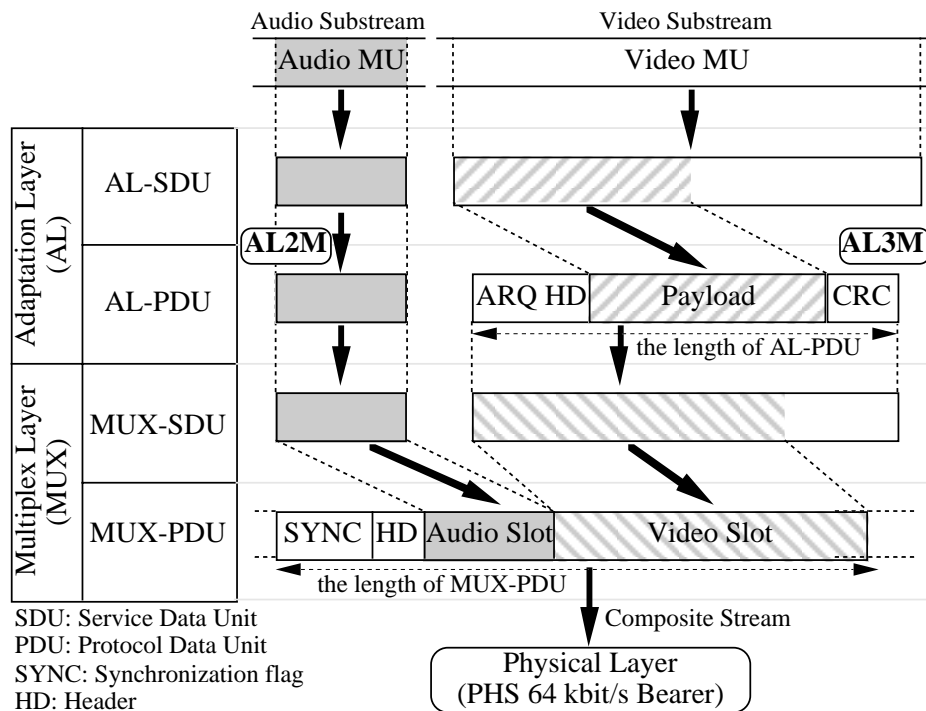


図6.1 H.223 Annex Cのプロトコル構成

Fig. 6.1 Protocol stack for H.223 Annex C.

ALは、上位レイヤのALユーザからの情報をAL-SDU (Service Data Unit)という単位で受け取り、誤り制御のための情報を付加して、AL-PDU (Protocol Data Unit) にフレーム化する。メディアの種類によって、伝送品質に対する要求が異なるため、ALには、データや制御情報に対するAL1M、音声に対するAL2M、ビデオに対するAL3Mという3つのタイプがある。AL1MとAL3Mは、誤り検出、再送、および誤り訂正機能を有す。なお、誤り訂正符号化方式として、RCPC (Rate Compatible Punctured Convolutional codes)符号が用いられる。またAL2Mは、誤り制御機能を提供しない。AL-PDUはMUX-SDUとして、MUX Layerに渡される。

MUX Layerでは、いくつかの種類のMUX-SDUを一つのMUX-PDUに多重化する。MUX-PDUは、異なるMUX-SDUにそれぞれ割り当てられた情報スロット、および同期フラグやヘッダから構成される。すなわち、デジタルデータ、音声、ビデオの各ストリームは、別々の論理チャンネルで伝送される。

### 6.2.2 スライド制御

H.223 AnnexをPHSに適用した場合のライブ伝送において、メディア同期を維持するために、第5章で提案したスライド制御と同じアルゴリズムを適用する。しかしながら、本章では、インタリーブ多重化する場合を検討するために、ストリームの定義を変更する。すなわち、多重化したMUX-PDUのストリームを複合ストリーム、多重化されているメディア*i*のストリームをサブストリーム*i*と定義する(図6.2)。なお、以後、*i* = 1はビデオサブストリーム、*i* = 2は音声サブストリームとする。また、各サブストリームは、各

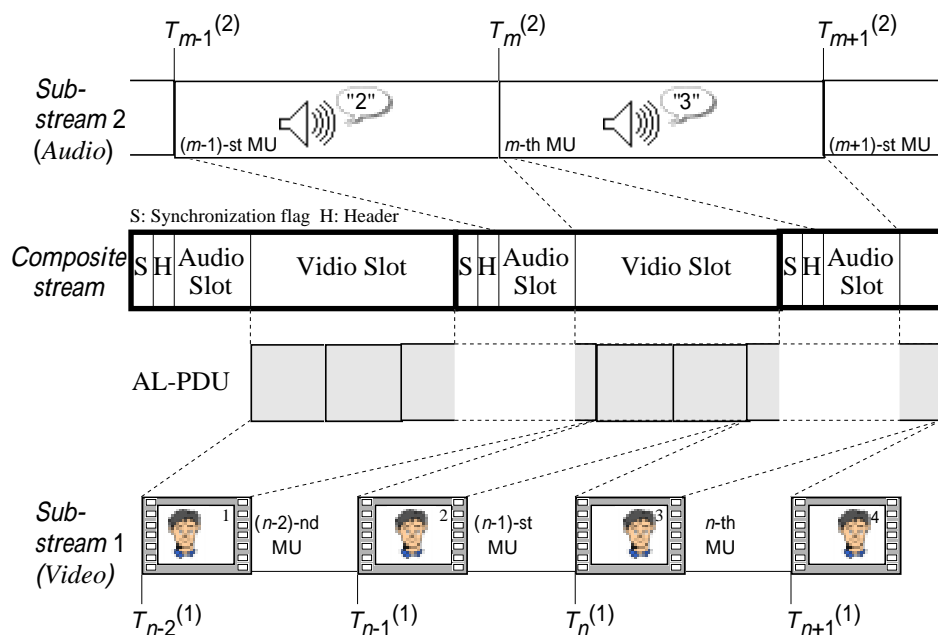


図6.2 ビデオMUと音声MUの時間関係

Fig. 6.2 Temporal relationship between video and audio MUs.

表6.1 スライド制御のパターン  
**Table 6.1** Patterns of the slide control.

pattern	description
(a)	if $T_{h1} < A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$ , and $S_{n-1}^{(1)} + S_n^{(1)} > 0$ then $S_n^{(j)} = 1$ (Backward).
(b)	if $A_n^{(1)} - t_n^{(1)} < -T_{h0}$ , then $S_n^{(j)} = 0$ (Forward).
(c)	otherwise $S_n^{(j)} = 0$ .

メディアの出力単位であるメディアユニット(MU)から構成されているものとする。メディア同期を維持するために、サブストリーム  $i$  の  $n$  番目の MU にタイムスタンプとして発生時刻  $T_n^{(i)}$  を付与する。

スライド制御には、目標出力時刻  $t_n^{(1)}$  を変更する向きに応じて、後方へのスライド制御と前方へのスライド制御がある。後方へのスライド制御は、遅延したビデオ MU と音声 MU とのメディア間同期を維持するために、目標出力時刻を遅らせる。しかしながら、このとき伝送遅延が増加してしまう。一方、前方へのスライド制御は、後方へのスライド制御により増加した伝送遅延を削減するために、目標出力時刻を前に進める。しかしながら、これによりメディア間同期は乱れやすくなる。このように、メディア間同期品質と伝送遅延の間には、トレードオフの関係がある。更に、後方へのスライド許容時間は、伝送遅延が大きくなりすぎないように、後方へのスライド制御により変更される時間量を制限する。

表6.1に、どの種類のスライド制御を実行するかを決定するためのアルゴリズムを示す。スライド制御の実行を判断するために、到着時刻  $A_n^{(1)}$  と目標出力時刻  $t_n^{(1)}$  の差 ( $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$ ) を使用する。第  $n$  番目のビデオ MU を受信すると、メディアの出力先は、 $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$  を計算する。もし、この値が後方へのスライド制御のしきい値  $T_{h1}$  ( $> 0$ ) を超え、かつ、目標出力時刻変更後の総スライド時間 ( $S_{n-1}^{(1)} + S_n^{(1)}$ ) が以下であれば、後方へのスライド制御を実行する。また、もし、 $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$  が前方へのスライド制御のしきい値  $-T_{h0}$  ( $T_{h0} > 0$ ) 以下であれば、前方へのスライド制御を実行する。なお、 $S_j$  は、*gradual recovery* によるスライド時間であり、 $j = 1$  は後方へのスライド制御、 $j = 0$  は前方へのスライド制御を意味する。また、 $S_1$  は正の値であるが、 $S_0$  は負の値である。

なお、スライド制御は、文献[Tasa96b]でいう *distinctive* 方式<sup>2</sup> である。すなわち、複合ストリームにおける音声 MU とビデオ MU を区別し、メディア内同期制御と共にメディア間同期制御も行う。

<sup>2</sup> *distinctive*方式とは対称に *nondistinctive*方式では、メディア内同期制御のみを行い、メディア間同期制御は行わない。



### 6.2.3 QOS 制御

本章では、メディア同期品質と伝送遅延を制御するために、後方へのスライド許容時間を使用したQOS制御を提案する。例えば、を小さな値に選択すれば、メディア間同期は乱れるかもしれないが、伝送遅延を小さくできる。一方、を大きな値に設定すれば、伝送遅延は大きくなるかもしれないが、メディア間同期品質の改善を期待できる。

しかしながら、誰が の値を選択するかは重要な問題である。もちろん、ユーザがその要求に応じて、ボタン等を直接操作して設定することも可能である。この場合、ユーザが値の選択に責任を持つことになる。しかしながら、ユーザはその設定を煩わしく感じるかもしれない。従って、容易ではないが、通信の内容に応じて、 の値を適応的に選択できることが望まれる。適応的なQOS制御は、今後の課題の一つである。

## 6.3 シミュレーションの仮定

### 6.3.1 伝送制御方式と通信環境の仮定

本章では、ISDN 端末が一つの通信チャネルを利用して送信した複合ストリームを、PHS 移動局が PHS 基地局を介して受信する場合を考える (図 6.3)。この複合ストリームは、H.263 ビデオサブストリームと G.723.1 音声サブストリームが、H.223 Annex により一つに多重化されているものとする。シミュレーションにあたり以下の仮定を置く。

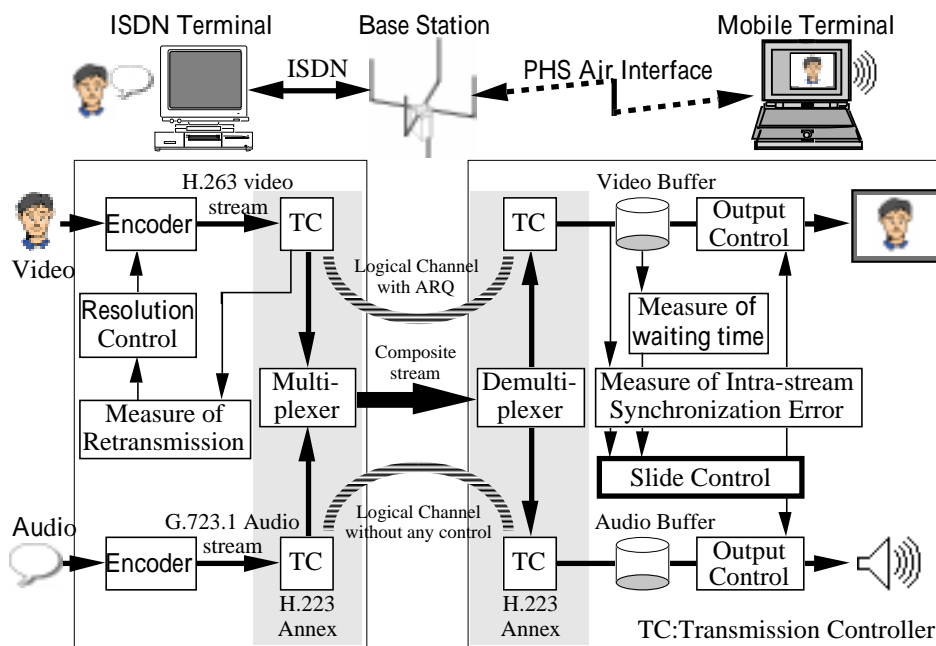


図6.3 ライブメディア伝送システム構成図

Fig. 6.3 Block diagram of the live media transmission system .

- A1. PHS の 64 kbit/s 非制限デジタルベアラサービスを利用する .
- A2. ビデオサブストリームを伝送する AL3M において , AL-PDU は 10 オクテットの ARQ ヘッダ , 4 オクテットの CRC , およびペイロードからなる . ペイロードサイズを 90 オクテットの固定値とする . これは , 6.4.2 節で述べるように , 実験により定めた値である . 従って , AL-PDU サイズは 104 オクテットになる ( 但し , 図 6.14 と図 6.15 を除く ) .
- A3. RCPC 符号による FEC の機能は利用しない . すなわち , RCPC 符号化レートを 1.0 とする . また , 再送時に同じ RCPC 符号化レートを使用する ARQ I 方式 [ITU98c] を選択する .
- A4. MUX レイヤは 4 オクテットの同期フラグ , 4 オクテットのヘッダ , および音声スロットとビデオスロットからなる MUX-PDU を生成する . 64 kbit/s 非制限デジタルベアラサービスを利用する場合に , 一つの MUX-PDU の伝送時間が 50 ms になるように , MUX-PDU のサイズを 400 オクテットの固定値とする ( 但し , 図 6.12 と図 6.13 を除く ) . 従って , 音声の符号発生レートが 6.3 kbit/s であるので , 音声スロットのサイズは 40 オクテットになる . また , ビデオスロットのサイズは , 残りの 352 オクテットになる . 但し , 図 6.12 と図 6.13 では別の値を使用する .
- A5. 音声サブストリームを伝送する AL2M において , 音声 MU を AL-SDU として扱う . また , AL-SDU は AL-PDU に等しく , また , これを一つの MUX-PDU の中の音声スロットに割り付けるため , 音声の MU サイズは 315 bit になる ( 但し , 図 6.12 と図 6.13 を除く ) .
- A6. 1 ビデオフレームを 1 ビデオ MU とする .
- A7. ビット誤りはペイロードの伝送期間中のみに発生するものとする . AL-PDU や MUX-PDU のヘッダには FEC が適用されているので , ビット誤りは発生しないものとする .
- A8. ビット誤りの発生は幾何分布に従う . すなわち , ランダム誤りのみを仮定する .
- A9. ISDN における伝送遅延時間と処理遅延時間の合計を 20 ms と仮定する . また , PHS の無線部における電波伝搬遅延は無視する .
- A10. 各音声 MU は , 音声スロットの送信開始直前に生成される .
- A11. 一つのビデオサンプルの符号化処理時間を 33.3 ms とする . この値は , ビデオのサンプリング周期と同じ値である .

### 6.3.2 ライブメディアの仮定

シミュレーションで使用するビデオサブストリームは H.263 により生成される [Tele96b] . 但し H.263 で規定されるいずれの符号化オプションも適用しない . メディアソースには , 人の上半身の画像とその音声を使用した . 画像サイズは sub-QCIF (128 × 96 ピクセル) とする . H.263 の目標符号発生レートを 47 kbit/s , その目標 MU レートを 15 MU/s とする . これらの値は , 第 5 章と同じ時間的解像度制御と空間的解像度制御により制御される .

音声サブストリームは , 符号発生レートが 6.3 kbit/s である G.723.1 によって生成される . 音声の MU サイズは 315 bit である . 従って , 音声の MU レートは 20 MU/s になる . 但し , 図 6.12 と図 6.13 では別の値を使用する .

### 6.3.3 評価システム

図6.4に、評価システムのソフトウェア構成を示す。H.263エンコーダは、シミュレーションプログラムからフィードバックされる再送回数を利用して、空間的・時間的解像度制御を適用しつつ、ビデオソースからH.263ビデオサブストリームを生成する。一方、シミュレーションプログラムは、通信プロトコルやエラー環境等のシミュレーションを行い、各MUの出力時刻等を計算する。特に、音声サブストリームにはエラー環境に応じたビット誤りも付加する。シミュレーションの結果に従い、各メディアを実際に出力する主観評価も可能である。

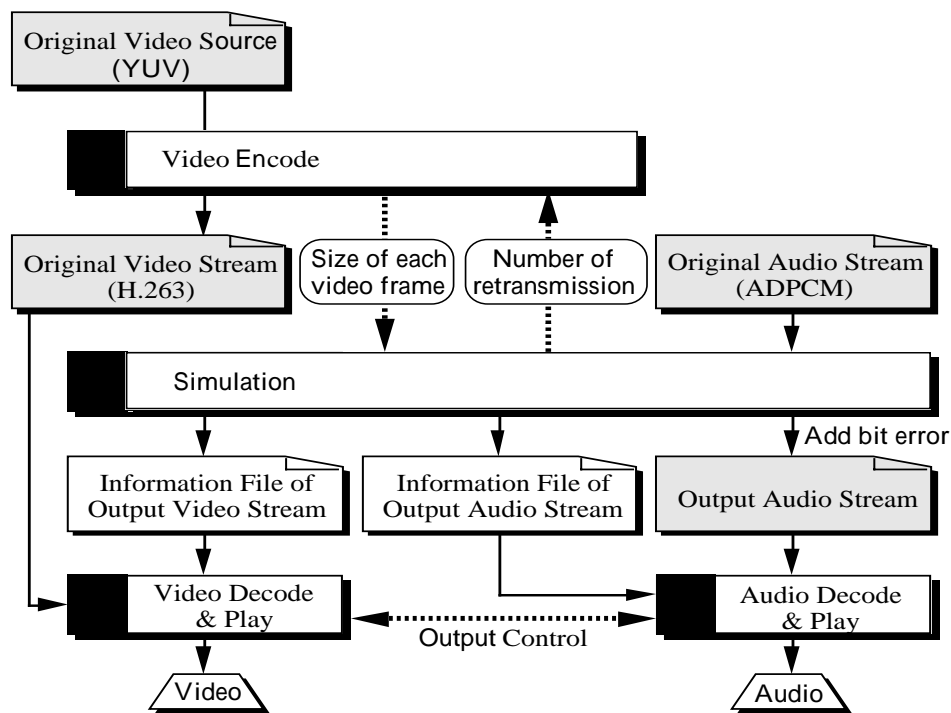


図6.4 評価システムの構成

Fig. 6.4 Block diagram of the evaluation system.

## 6.4 数値結果

本節では、まず、インターリーブ多重化伝送におけるスライド制御の性能を評価する。つぎに、MUX-PDUサイズとAL-PDUサイズの影響を調べる。そして、後方へのスライド許容時間をを用いたQOS制御の有効性を調べる。

シミュレーションにおいて、各パラメータを第5章と同様に設定する。すなわち、前方へのスライド制御のしきい値  $T_{h0} = 100$  ms、スライド時間  $t_0 = -50$  ms、最小許容実行間隔  $\tau_0 = 1$  s、後方へのスライド制御のしきい値  $T_{h1} = 100$  ms、スライド時間  $t_1 = 50$  ms、最小許容実行間隔  $\tau_1 = 1$  sとする。これらの値は、スライド制御による遅延の増加や音声サブストリームの乱れが、大きくなりすぎないように選択している。また、6.4.1節および6.4.2節では、 $t_1 = 200$  msとする。更に、最初の音声MUの伝送遅延時間が通信開始時に最小になるように、図6.7を除き、到着してから出力されるまでの出力待ち時間  $t_1^{(2)}$  を0とする(すなわち、 $t_1^{(2)} = A_1^{(2)}$ )。また、最初のビデオMUの目標出力時刻は、 $t_1^{(1)} = t_1^{(2)} + (T_1^{(1)} - T_1^{(2)})$  で与えられる。シミュレーション時間は約120秒である。

### 6.4.1 インタリーブ多重化伝送におけるスライド制御の性能

まず、ビデオ通信チャネルのスループットとビット誤り率(BER)の関係を図6.5に示す。なお、スループットは、単位時間あたりに送信が完了した情報量とする。例えば、BER =  $1.0 \times 10^{-4}$  では、スループットは43.2 kbit/sになる。しかしながら、BER =  $6.0 \times 10^{-4}$  では、28.7 kbit/sまで低下する。

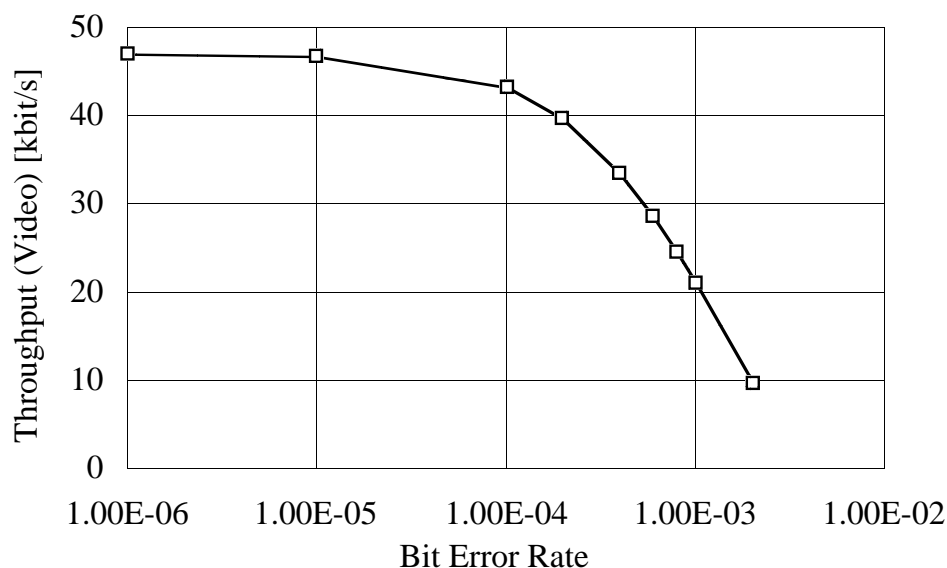


図6.5 スループットとBERの関係

Fig. 6.5 Throughput versus BER.

### (1) メディア間同期性能

つぎに、スライド制御の有効性を確認するために、メディア間同期性能を調べる。以後、各図において、スライド制御を適用した場合を SC (Slide Control)、適用しない場合を NC (No Control) で示す。なお、“NC” では、出力時刻  $D_n^{(i)}$  は到着時刻  $A_n^{(i)}$  と等しい。

図6.6に、メディア間同期ずれ時間  $\tau_n^{(1-2)}$  の2乗平均値の平方根(RMS: Root Mean Square) と BER の関係を示す。これによれば、スライド制御は PHS に H.223 Annex によるインタリーブ多重化を適用した場合においても有効であると言える。ここで、メディア間同期性能を評価するために、文献[Ste96]の結果を引用する。これは、 $\tau_n^{(1-2)}$  が 80 ms 以内であればメディア間同期は良好な状態、160 ms 以上であれば同期外れの状態であると報告している。例えば、スライド制御を適用すれば、BER =  $6.0 \times 10^{-4}$  でも、良好なメディア間同期を維持できる。しかしながら、スライド制御を適用しなければ、同じ BER でも同期外れとなる。

また、“NC” では、BER =  $1.0 \times 10^{-6}$  のように BER が小さい場合でも、メディア間同期ずれ時間の RMS は約 52 ms になる。これは、音声とビデオの MU サイズの違いが、MU 遅延時間の差となって現れたためである。この現象はインタリーブ多重伝送の特徴の一つである。

このような状況を鑑みると、“NC” の場合でも、ビデオの平均 MU 遅延時間と音声の平均 MU 遅延時間が等しくなるように  $\tau_m^{(2)}$  を設定すれば、メディア間同期性能の改善を期待できる。そこで、スライド制御を適用しない場合において、 $\tau_m^{(2)}$  が同期性能に及ぼす影響を調べる。図6.7に、“NC” で、かつ  $\tau_m^{(2)}$  に4種類の異なる値を設定した場合において、それぞれのメディア間同期ずれ時間の RMS と BER の関係を示す。図において、 $\times$ 、 $\square$ 、 $\triangle$ 、 $\circ$  は、“NC” で、かつ  $\tau_m^{(2)}$  がそれぞれ 0 ms、25 ms、50 ms、75 ms の場合を示す。また、比較対象として、“SC” で、かつ  $\tau_1^{(2)} = 0$  ms の場合を  $\square$  で示す。これによれば、BER が小さい領域では、 $\tau_m^{(2)}$  が音声とビデオの平均 MU 遅延時間の差(図6.8と図6.9を参照)にほぼ等しい  $\tau_m^{(2)} = 50$  ms (  $\triangle$  でプロット ) の場合に、メディア間同期ずれ時間の RMS が4種類の“NC” のなかでもっとも小さな値になっている。また、この値は“SC” の値に近くなっている。しかしながら、BER が大きくなると、“NC” の値は、“SC” の値よりもかなり大きくなっている。これは、再送により時間的構造が乱れたためである。従って、スライド制御は、BER が大きな領域においてもメディア間同期を維持するために不可欠である。

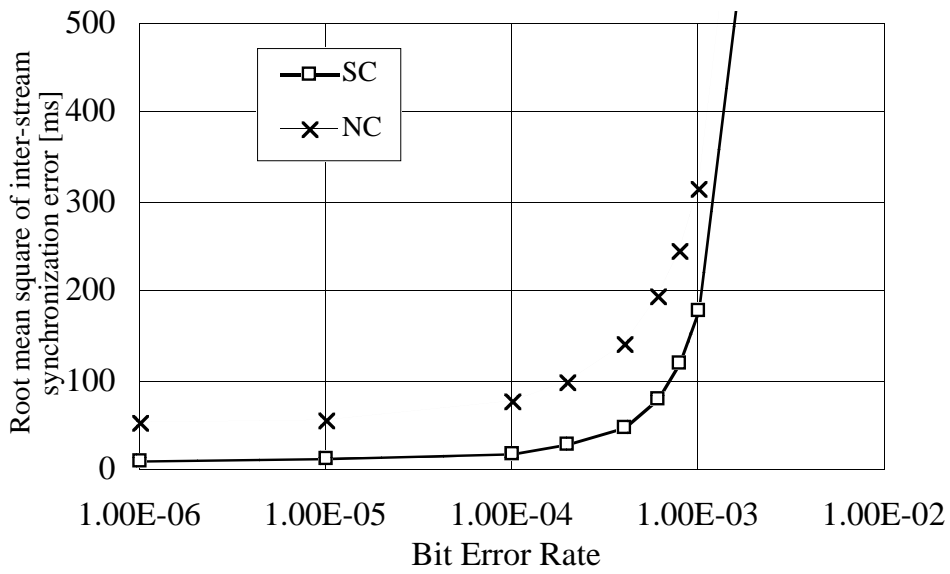


図6.6  $n^{(1-2)}$  のRMSとBERの関係

Fig. 6.6 Root mean square of  $n^{(1-2)}$  versus BER.

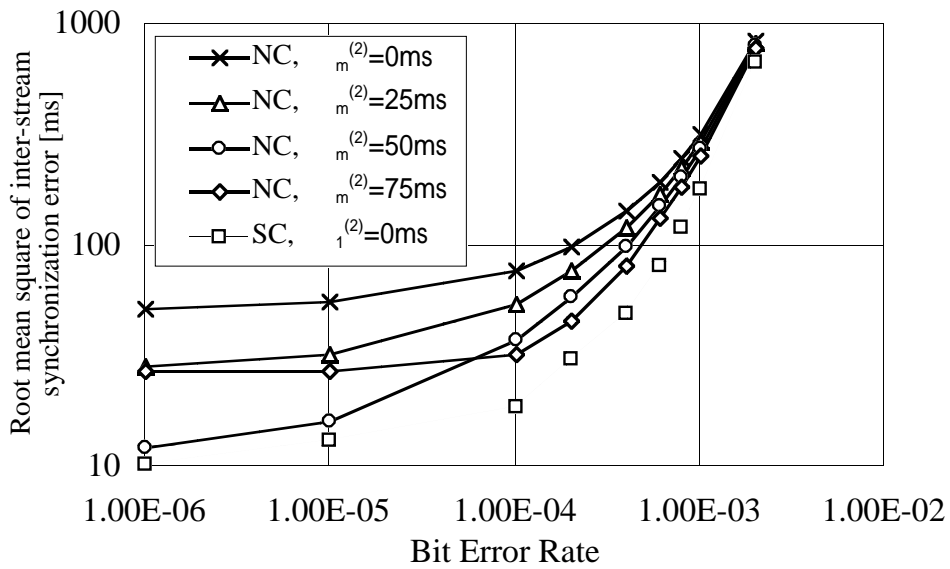


図6.7  $m^{(2)}$  が  $n^{(1-2)}$  のRMSに及ぼす影響

Fig. 6.7 Influence of  $m^{(2)}$  on root mean square of  $n^{(1-2)}$

## (2) 平均 MU 遅延時間

ライブメディアの伝送では、メディア間同期性能と共に、伝送遅延も重要な性能評価尺度である。ここでは平均 MU 遅延時間について調べる。サブストリーム  $i$  の平均 MU 遅延時間は、発生時刻  $T_n^{(i)}$  と出力時刻  $D_n^{(i)}$  の差の平均値と定義する。図 6.8 に音声の平均 MU 遅延時間と BER の関係、図 6.9 にビデオの平均 MU 遅延時間と BER の関係を示す。

これらによれば、スライド制御は、ビデオと音声の平均 MU 遅延時間を増加させることがわかる。音声サブストリームの場合（図 6.8），“SC” では、BER が大きくなるにつれて平均 MU 遅延時間も増加する。一方，“NC” では一定の値である。しかしながら，“SC” の場合、BER が大きくなってその値は 270 ms 未満であることに注意されたい。これは、後方へのスライド許容時間が、伝送遅延が大きくなりすぎないように、後方へのスライド制御による目標出力時刻の変更量を制限したためである。

また，“NC” の場合でも、音声の平均 MU 遅延時間は 75 ms と大きな値を示している。これは、一つの音声 MU を生成するのに 50 ms の時間がかかるためである。すなわち、音声 MU のサンプリング時間は、MUX-PDU のサイズや MUX-PDU における情報スロットの多重化パターンに依存している。MUX-PDU サイズの影響については、6.4.2 節で述べる。

一方、図 6.9 によれば、ビデオの平均 MU 遅延時間は  $BER = 1.0 \times 10^{-6}$  において 125 ms である。これは、符号化時間（33.3 ms と仮定）、ISDN における伝送遅延時間（20 ms と仮定）、一つのビデオ MU の伝送時間（目標 MU レートが 15 MU/s の場合、平均伝送時間は約 66.6 ms になる）によるものである。

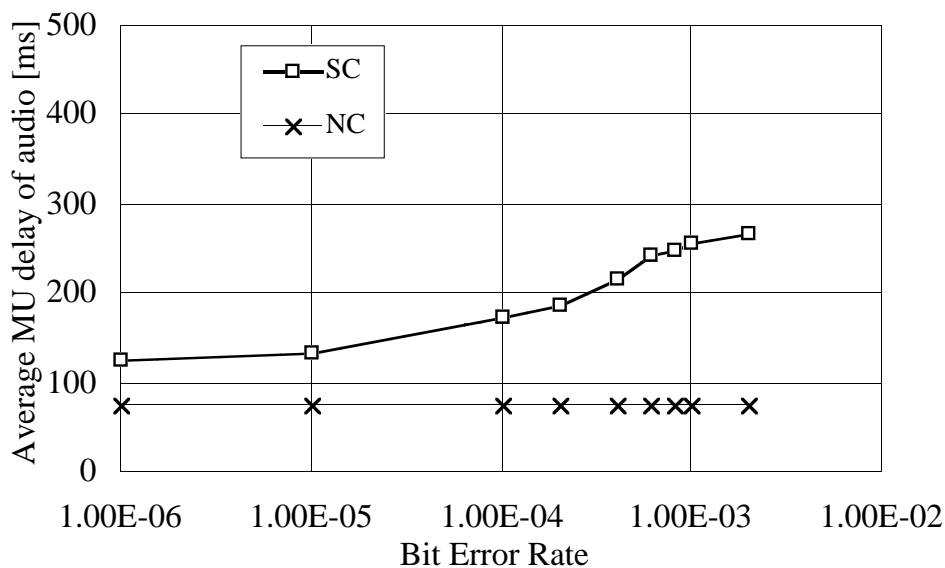


図 6.8 音声の平均 MU 遅延時間と BER の関係

Fig. 6.8 Average MU delay of audio versus BER.

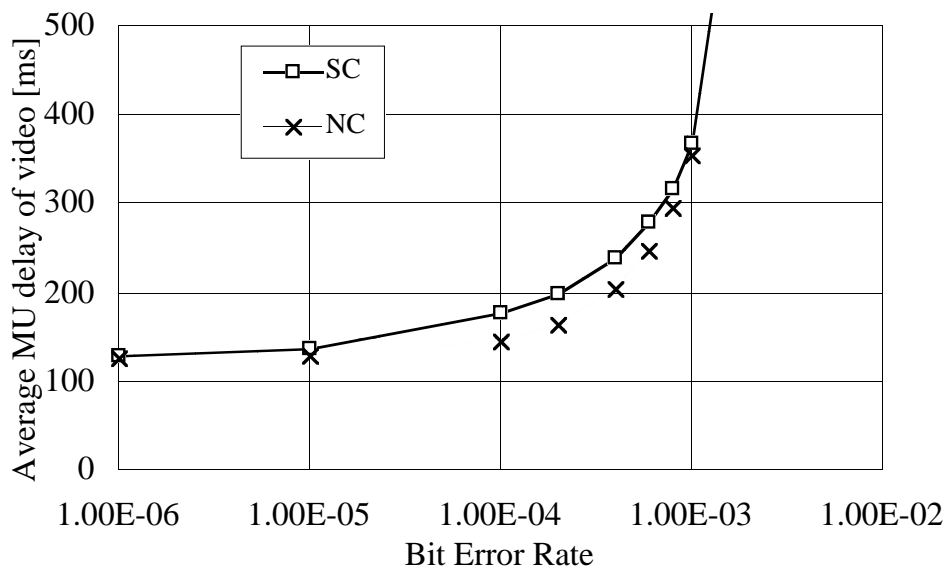


図6.9 ビデオの平均MU遅延時間とBERの関係

Fig. 6.9 Average MU delay of video versus BER.

### (3) メディア内同期性能

各サブストリームのメディア内同期性能を出力間隔の変動係数 $C_v^{(i)}$ を評価尺度として調べる．変動係数 $C_v^{(i)}$ は，次式で与えられる．なお， $N$ は総MU数を示す．

$$C_v^{(i)} \triangleq \left[ \frac{\sum_{n=1}^{N-1} (D_{n+1}^{(i)} - D_n^{(i)} - E^{(i)})^2}{(N-1)} \right]^{1/2} / E^{(i)}$$

$$E^{(i)} \triangleq (D_N^{(i)} - D_1^{(i)}) / (N-1).$$

図6.10にビデオの変動係数 $C_v^{(1)}$ とBERの関係，図6.11に音声の変動係数 $C_v^{(2)}$ とBERの関係を示す．なお，変動係数が小さいほど，より滑らかな出力が得られることを意味する．

図6.10によれば，ビデオの変動係数は"SC"の値が"NC"の値よりも小さくなっており，スライド制御がビデオの変動係数を小さくするのに有効であると言える．一方，図6.11によれば，音声の変動係数は，"SC"の値が"NC"の値（常に0）よりもやや大きくなっている．しかしながら，"SC"の各値は，十分に小さな値である．

ここで，スライド制御を適用した場合，音声の変動係数はピークを持つ．すなわち，BERが大きい領域では，BERの増加に伴い変動係数は減少する．これは，BERが大きくなると後方へのスライド制御が連続的に発生し，総スライド時間が短時間で後方へのスライド許容時間に達するものの，前方へのスライド制御はほとんど発生しないためである．すなわち，スライド制御の実行回数が少ないためである．



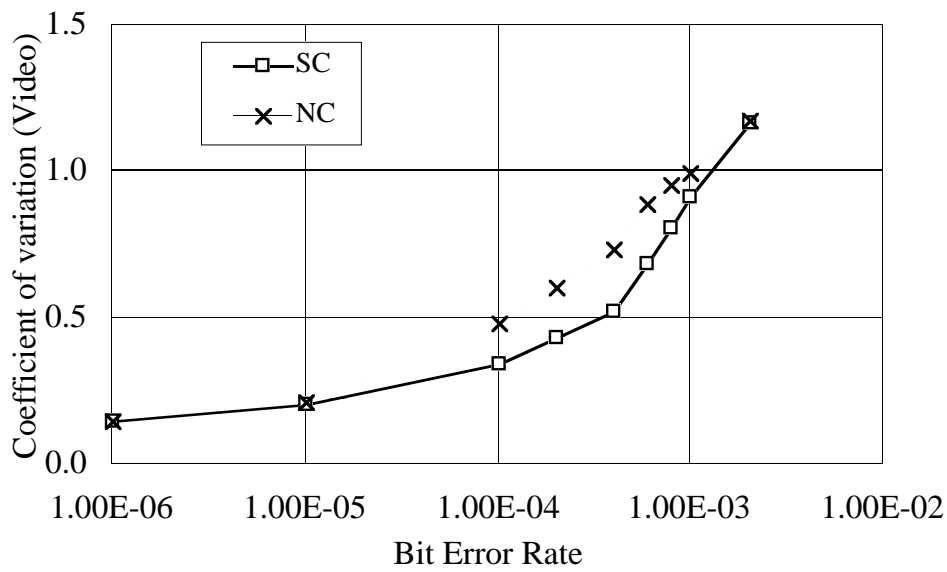


図6.10 ビデオの変動係数とBERの関係

Fig. 6.10  $C_V^{(1)}$  versus BER.

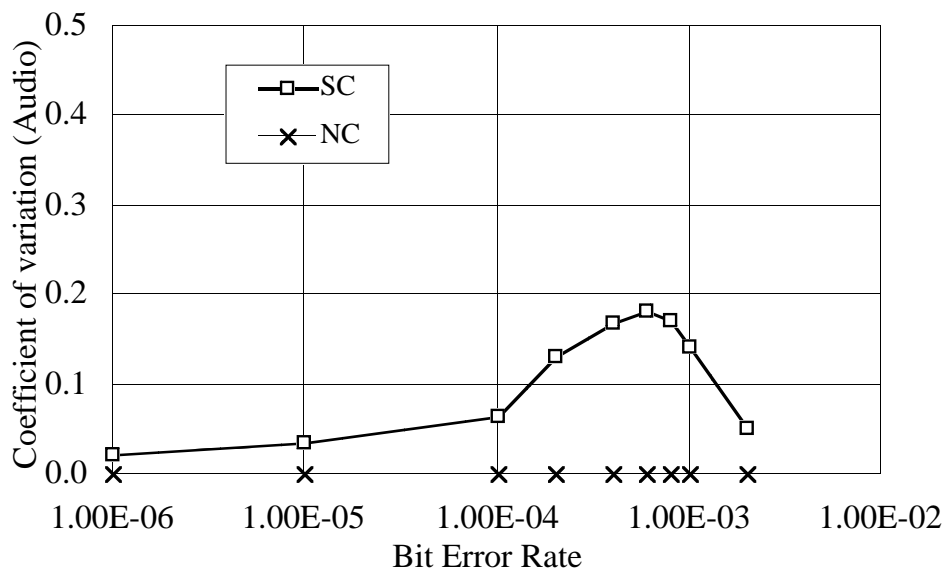


図6.11 音声の変動係数とBERの関係

Fig. 6.11  $C_V^{(2)}$  versus BER.

## 6.4.2 MUX-PDU サイズと AL-PDU サイズの影響

本節では、MUX-PDU サイズと、ビデオの AL-PDU サイズの影響について調べる。

### (1) MUX-PDU サイズの影響

MUX-PDU サイズに異なる3種類の値を設定する場合において、音声の平均 MU 遅延と BER の関係を図 6.12 に、ビデオの平均 MU 遅延と BER の関係を図 6.13 に示す。図 6.12 は、"SC" で、かつ MUX-PDU サイズが 400, 800, 1200 オクテットの場合を示す。また、図 6.13 は、"NC" で、かつ MUX-PDU サイズが 400, 800, 1200 オクテットの場合を示す。なお、音声の符号化レートは 6.3 kbit/s であるので、音声スロットのサイズは 40, 80, 120 オクテットになる。また、一つの音声 MU を一つの音声スロットに割り付けると仮定しているので、音声の MU サイズは、それぞれ 315, 630, 945 bit になる。

"NC" の場合、ビデオの平均 MU 遅延時間は MUX-PDU サイズの影響を受けないけれども、音声の平均 MU 遅延時間は、MUX-PDU のサイズが大きくなるにつれて増加する。すなわち、音声の MU 遅延は MUX-PDU サイズに依存している。

しかしながら、MUX-PDU サイズが大きくても、多重化パターンによっては、音声の平均 MU 遅延時間の削減を期待できる。例えば、MUX-PDU サイズが 800 オクテットの場合、音声スロットを 2 分割し、その後半部分をビデオスロットの中央に割り当てる場合を考える。すなわち、40 オクテットの音声スロットと 356 オクテットのビデオスロットを 2 回繰り返して MUX-PDU に割り付ける。この多重化パターンは、結果的に MUX-PDU サイズが 400 オクテットの場合の多重化パターンとほぼ等しくなるので、音声の MU 遅延は多重化パターンを変えることで小さくなると考えられる。このように、音声スロットの間隔は音声の MU 遅延に大きな影響を及ぼす。この結果はインタリーブ多重伝送の特徴の一つである。

一方、"SC" の場合、MUX-PDU のサイズが大きくなるにつれて、音声とビデオの平均 MU 遅延が増加する。特に、音声では、BER が大きい領域において、後方へのスライド許容時間が同じ値であるにもかかわらず、MUX-PDU サイズが大きいくほど音声の平均 MU 遅延は大きくなっている。これは、MUX-PDU サイズが大きく、音声の MU サイズが大きくなるほど、最初の音声 MU の目標出力時刻が遅くなるためである。

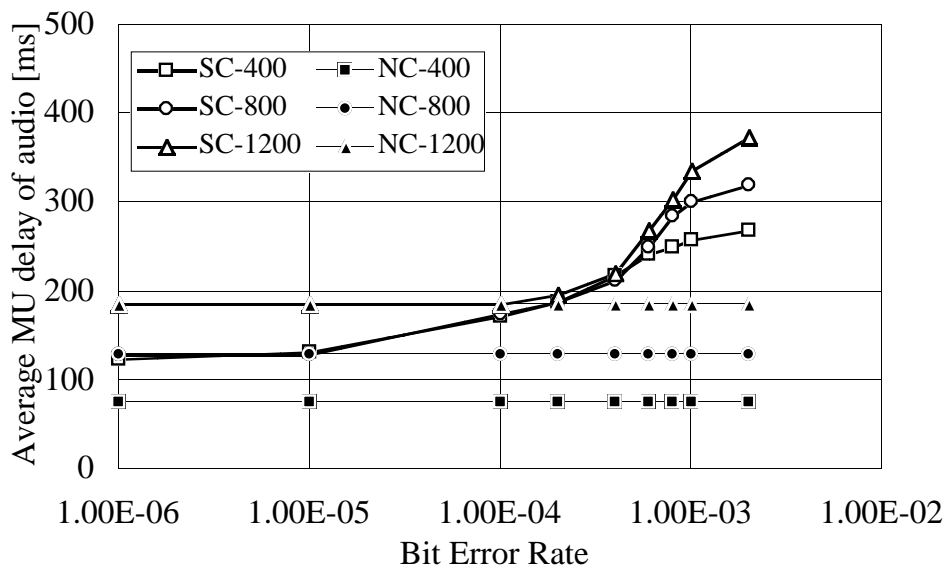


図6.12 MUX-PDUサイズが音声の平均MU遅延時間に及ぼす影響  
**Fig. 6.12** Influence of MUX-PDU size on average MU delay of audio.

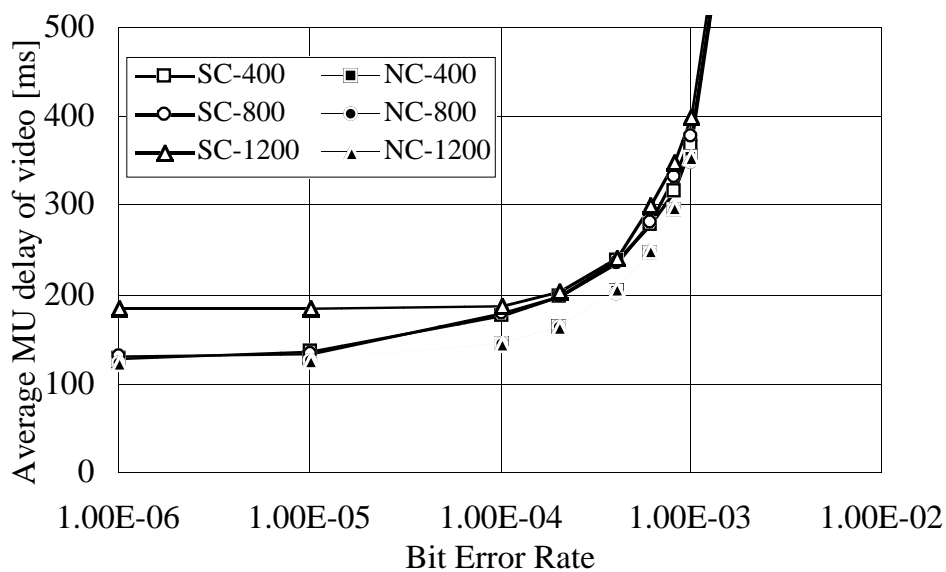


図6.13 MUX-PDUサイズがビデオの平均MU遅延時間に及ぼす影響  
**Fig. 6.13** Influence of MUX-PDU size on average MU delay of video.

(2) ビデオの AL-PDU サイズの影響

スライド制御適用時におけるビデオの平均MU遅延時間とAL-PDUサイズの関係を図6.14に、メディア間同期ずれ時間 $\sigma_n^{(1-2)}$ のRMSとAL-PDUサイズの関係を図6.15に示す。これらの図において、 $\circ, \square, \triangle, \diamond, \times$ は、それぞれ、BER =  $1.0 \times 10^{-6}$ ,  $1.0 \times 10^{-4}$ ,  $4.0 \times 10^{-4}$ ,  $6.0 \times 10^{-4}$ ,  $8.0 \times 10^{-4}$ ,  $1.0 \times 10^{-3}$ の場合を意味する。

図6.14によれば、ビデオの平均MU遅延時間は各BERにおいて最小値を持つ。BERが大きいほど、その最小値も大きくなる。AL-PDUサイズが小さすぎる場合を除き、AL-PDUサイズが大きくなると、ビデオのMU遅延時間も徐々に増加する。また、BERが大きいほど、AL-PDUサイズがビデオのMU遅延時間に及ぼす影響が顕著になる。このことは、AL-PDUサイズを大きな値に選択すると、BERが大きくなったときに、ビデオのMU遅延時間が大きく増加することを意味している。一方、AL-PDUサイズが非常に小さい場合では、ビデオの平均MU遅延時間はAL-PDUサイズの変化に伴って急激に増加する。これは、ヘッダ情報がAL-PDUに占める割合が非常に大きくなるためである。ここで、6.3.1節のA2において、ペイロードサイズを90オクテット(すなわち、AL-PDUサイズを104オクテット)と仮定した。このとき、全てのBERにおいてMU遅延がある程度小さくなっており、この値の選択は適切と言える。

更に、メディア間同期に関しても、ビデオの平均MU遅延時間と同じ結果が得られている(図6.15)。すなわち、AL-PDUサイズは、メディア間同期にとって重要なパラメータである。

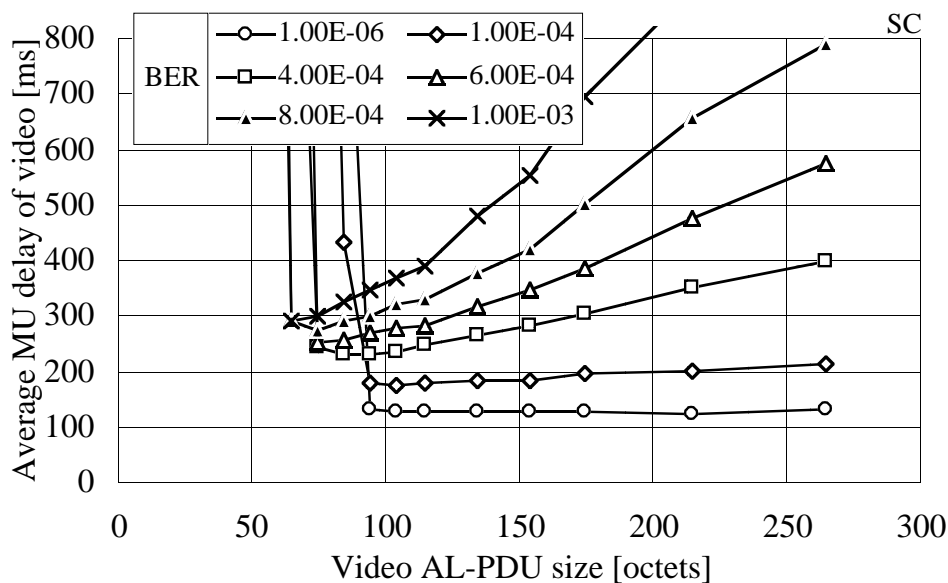


図6.14 ビデオの平均MU遅延時間とビデオのAL-PDUサイズの関係

Fig. 6.14 Average MU delay of video versus video AL-PDU size.

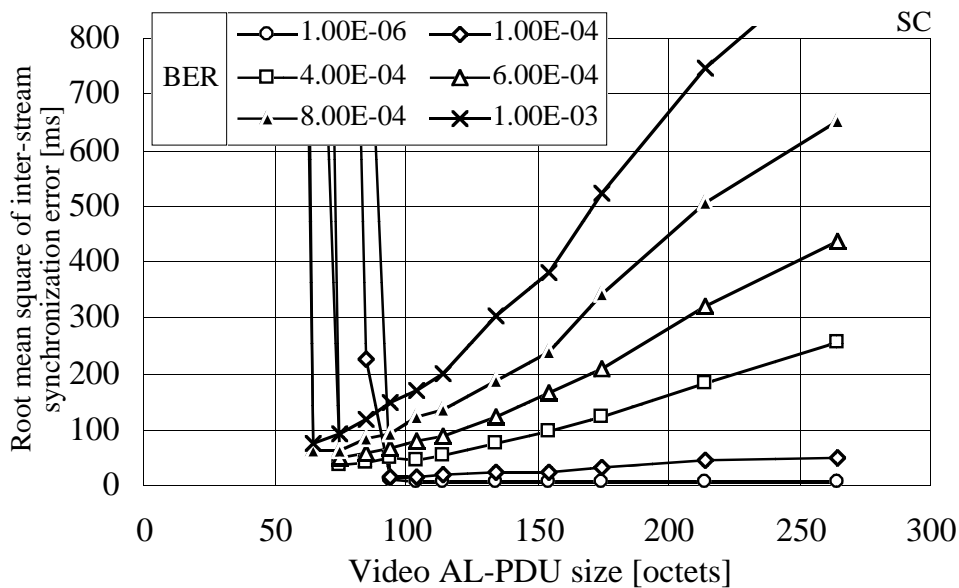


図6.15  $\sigma_n^{(1-2)}$ のRMSとビデオのAL-PDUサイズの関係  
 Fig. 6.15 Root mean square of  $\sigma_n^{(1-2)}$  versus video AL-PDU size.

### 6.4.3 QOS 制御の有効性

本節では、後方へのスライド許容時間  $\sigma_n^{(1-2)}$  によるQOS制御の有効性を調べる。メディア間同期ずれ時間  $\sigma_n^{(1-2)}$ のRMSと  $\sigma_n^{(1-2)}$  の関係を図6.16に、音声とビデオの平均MU遅延時間  $\sigma_n^{(1-2)}$  と  $\sigma_n^{(1-2)}$  の関係をそれぞれ図6.17と図6.18に示す。これらの図において、各シンボルの意味は図6.14や図6.15と同じである。

図6.16と図6.17によれば、メディア間同期性能と音声の伝送遅延との間には、トレードオフの関係があると言える。すなわち、 $\sigma_n^{(1-2)}$ の値が大きくなると、音声の平均MU遅延時間は増加するものの、メディア間同期ずれ時間のRMSは減少する。このことは、 $\sigma_n^{(1-2)}$ の値が大きいときには、メディア間同期を維持するために、音声の伝送遅延を犠牲にして、後方へのスライド制御を頻繁に実行することを意味している。逆に、 $\sigma_n^{(1-2)}$ の値が小さいときには、メディア間同期は乱れるかもしれないけれども、伝送遅延を削減するために後方へのスライド制御の実行を抑制している。特に、これらの性能は、BERが大きいときのほうが、 $\sigma_n^{(1-2)}$ による影響がより顕著である。従って、 $\sigma_n^{(1-2)}$ によるQOS制御は、特にBERが大きい場合に、メディア間同期品質と音声の伝送遅延の制御に有効であると言える。しかしながら、このQOS制御は、ビデオの伝送遅延の制御にはあまり有効ではない(図6.18)。

一方、BER =  $1.0 \times 10^{-6}$  (  $\sigma_n^{(1-2)}$  でプロット ) や BER =  $1.0 \times 10^{-4}$  (  $\sigma_n^{(1-2)}$  でプロット ) の場合、 $\sigma_n^{(1-2)}$ の値が極端に小さくなければ、 $\sigma_n^{(1-2)}$ がメディア間同期ずれ時間のRMSや音声の平均MU

遅延時間に及ぼす影響は小さい。この領域では、 $\tau$  の値が小さくても、メディア同期を維持するために十分な後方へのスライド制御が実行されている。従って、 $\tau$  を仮に大きな値に設定したとしても、BER が小さければ、スライド制御は伝送遅延を小さく維持することに注意されたい。このことは、ライブ伝送において非常に重要である。

つぎに、メディア間同期品質を文献[Stein96]の結果を用いて調べる。例えば、 $BER = 6.0 \times 10^{-4}$  の場合を考える。ここで、 $\tau$  を 200 ms 以上に設定すれば、メディア間同期は良好に維持できるが、音声の平均 MU 遅延時間は約 242 ms になる。一方、 $\tau$  を 0 ms に設定すれば、音声の平均 MU 遅延時間は 75 ms になるが、メディア間同期は同期外れとなる。

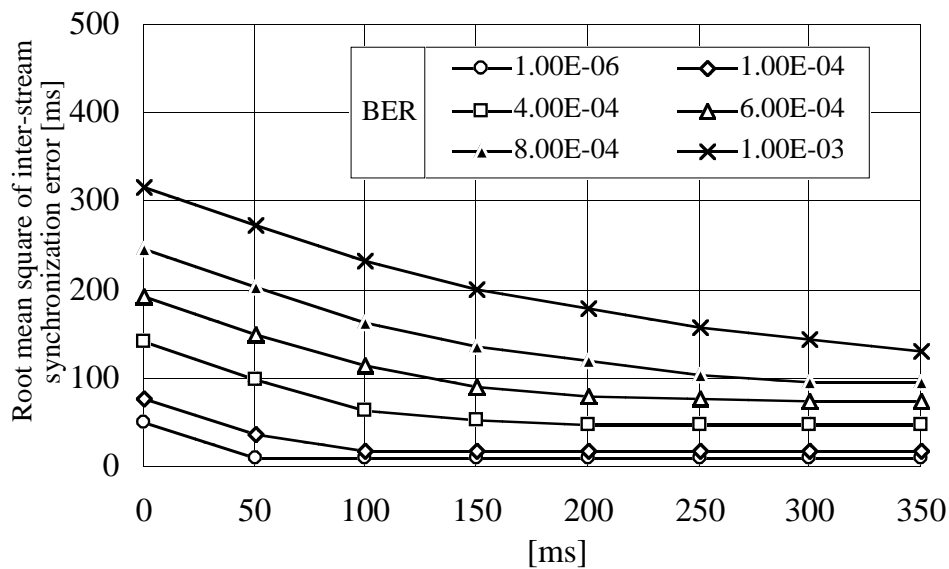


図6.16  $\tau$  のRMSと  $\tau$  の関係

Fig. 6.16 Root mean square of  $\tau$  versus  $\tau$ .

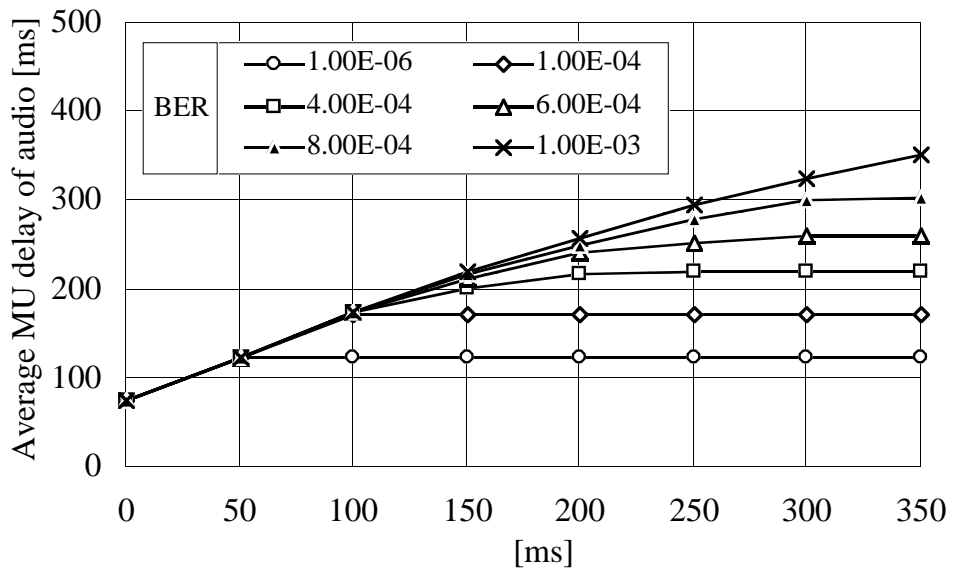


図6.17 音声の平均MU遅延時間と の関係

Fig. 6.17 Average MU delay of audio versus .

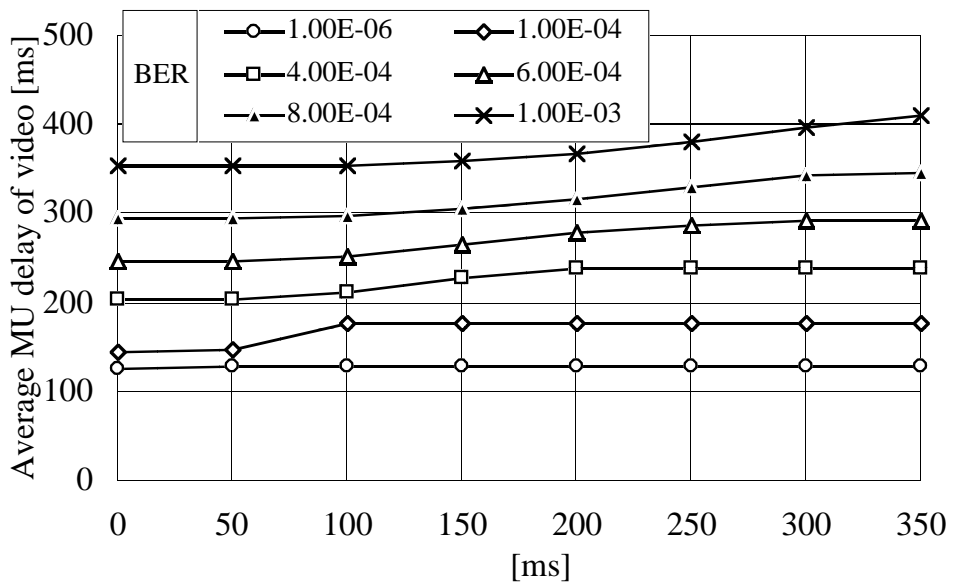


図6.18 ビデオの平均MU遅延時間と の関係

Fig. 6.18 Average MU delay of video versus .

## 6.5 むすび

本章では ,H.223 Annexで規定されたインタリーブ多重化方式をPHSに適用する場合において ,スライド制御の適用を考えた .また ,メディア同期品質と伝送遅延を制御するために ,後方へのスライド許容時間 を利用したQOS制御を提案した .そして ,ライブメディアを伝送する場合において ,これらの方式の有効性を評価した .

スライド制御は ,H.223 Annexを適用した場合においても ,伝送遅延を犠牲にはするものの ,メディア同期の維持に有効である .また ,後方へのスライド許容時間 を利用したQOS制御は ,メディア間同期品質と音声の伝送遅延の制御に有効である .更に ,インタリーブ多重化伝送におけるメディア同期品質の特徴をいくつか確認した .すなわち ,音声スロットの間隔は音声のMU遅延に大きな影響を及ぼす .また ,スライド制御を適用しなければ ,音声とビデオのMUサイズの差がメディア間同期を乱す .

適応的なQOS制御 ,インタリーブ多重化の有無による性能比較は ,今後の課題である .また ,無音区間等のメディアの特徴を活用した同期制御方式の改良が望まれる .



## 第7章

# PHS 回線における蓄積メディア同期実験

### 7.1 まえがき

本章では、通信サービス品質が異なる複数のネットワークを相互に接続した多元的な通信環境におけるスライド制御の有効性を議論する。特に、PHSによるインターネットアクセスにおける蓄積メディア同期性能を実験により評価する。

PHSによるインターネットアクセスでは、モバイル端末とダイアルアップルータ間のデータリンクレベルのプロトコルとしてPIAFSが適用される。更に、モバイル端末とインターネット上のメディアサーバ間のトランスポートプロトコルとして、TCP (Transmission Control Protocol)やUDP (User Datagram Protocol)を利用できる。このような環境下で、連続メディアであるビデオや音声を伝送すると、PIAFSやTCPの再送による遅延の発生がメディア同期を乱してしまう。しかしながら、インターネットプロトコルを使用したビデオ・音声ツール[Itu96c]のほとんどは、メディア同期に対する十分な考慮がなされていない。

第3章および第4章では、PHS回線とISDNを介して接続されたメディアサーバとモバイル端末間において、蓄積メディア伝送時のメディア同期性能について検討を行った。特に、メディア同期制御方式としてスライド制御を提案し、その有効性をシミュレーションにより明らかにした。しかしながら、PHSによるインターネットアクセス時における蓄積メディア同期性能の評価はなされていない。

無線のアクセスネットワークを用いた場合のメディア同期の研究としては、文献[Tasa97b]の無線LANアクセスによる蓄積メディアの同期性能評価実験がある。これは蓄積交換系ネットワークにおいて無線と有線とを統合した通信環境を検討の対象としている。しかしながら、PHSによるインターネットアクセス時のように、設計思想の異なる回線交換系ネットワークと蓄積交換系ネットワークを統合し、しかも無線と有線との統合を実現した通信環境におけるメディア同期性能は評価されていない。

そこで本章では、PHSによるインターネットアクセス時における蓄積メディア同期性能を実験により評価する。すなわち、提案方式を実装し、実験を行うことによって、これまでのシミュレーションのみによる研究では、必ずしも十分には評価しきれない性能の側面を含めて、総合的に実証評価する。そのために、モバイル端末とダイアルアップルータ間にPIAFSを、モバイル端末とインターネット上のメディアサーバ間にUDPを適用し、モバイル端末が受信したビデオと音声を同期・出力する実験システムを構築する。更に、メディア同期制御方式として、スライド制御を一部拡張して実装する。そして本章では、特に、無線通信環境における影響に焦点を合わせて議論を行う。すなわち、

フェージング周波数やCNR (Carrier to Noise Ratio)等のPHSの通信環境や，UDP等の通信プロトコルが，メディア同期性能に及ぼす影響を実験により評価し，スライド制御の有効性を示す．なお，インターネットにおける遅延揺らぎがメディア同期に及ぼす影響については，第8章で述べる．

本章の構成は次のとおりである．7.2節ではメディア同期制御方式について，7.3節では実験システムについて述べる．7.4節では数値結果と性能評価を報告する．

## 7.2 メディア同期制御方式

### 7.2.1 PHSによるインターネットアクセス

本章では，PHSを利用してインターネットにアクセスする場合を想定している．PHSによるインターネットアクセスでは，モバイル端末は基地局を介してダイヤルアップルータと接続し，更に，インターネット上のメディアサーバと接続する(図7.1)．このとき，モバイル端末と基地局間はPHSのエアインターフェース(RCR-STD28 [Arib97])で，基地局とダイヤルアップルータ間はN-ISDNで接続される．

モバイル端末とダイヤルアップルータ間では，データリンクレベルのプロトコルとしてPIAFSを適用する．PIAFSは，SR-ARQによる再送機能を提供する．なお，ARQフレームの同期は通信開始時に確立される．また，CRCによりARQフレームの誤りを連続20回検出した場合には，再同期処理が実行される．

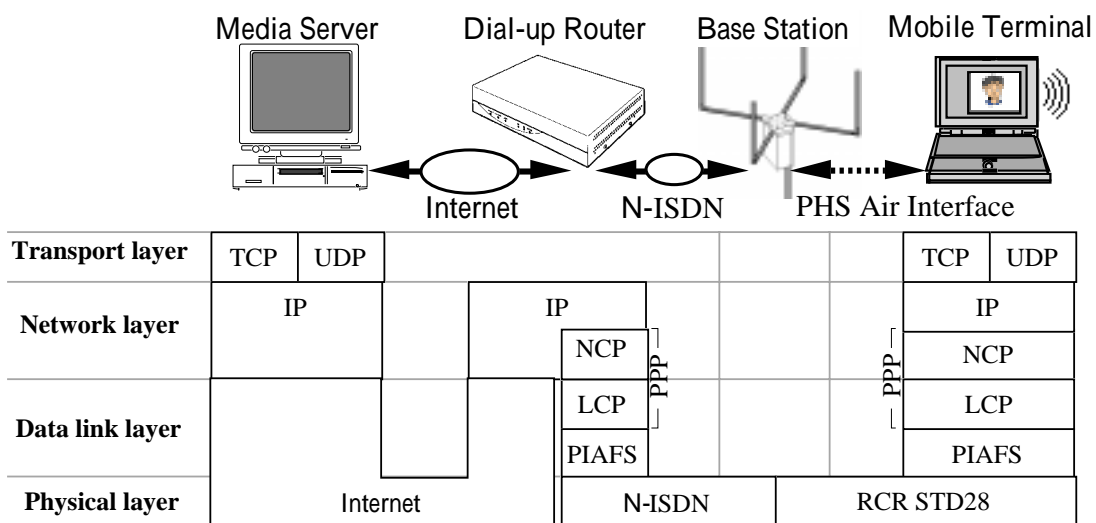


図7.1 プロトコルスタック

Fig. 7.1 Protocol Stack.

更に,モバイル端末とダイヤルアップルータ間では,PIAFSの上位にPPP (Point-to-Point Protocol) [Rfc94]が適用される。PPPは,二点間を結ぶリンク上で,ネットワークレイヤのプロトコルが異なる複数のデータグラムの伝送を可能にする。PPPは,LCP (Link Control Protocol)とNCP (Network Control Protocol)から構成される。LCPはユーザ認証を含む通信条件の調整を行い,二点間のリンクを確立する。その後,利用するネットワークレイヤのプロトコルごとに定められたNCPが必要な情報を交換する。例えば,IP (Internet Protocol)に対応するNCPであるIPCP (Internet Protocol Control Protocol) [Rfc92]は,モバイル端末が使用するIPアドレスの送受信等を行う。これによりモバイル端末は,インターネット上のメディアサーバとIPを利用した通信ができる。

PPPフレームはHDLC (High-level Data Link Control Procedure)のUI (Unnumbered Information)フレームと同じ構造である(図7.2)。PPPでは,データフィールドとFCSフィールドにおけるビット透過性を実現するために, $20_{\text{H}}$ 以下のデータと $7E_{\text{H}}$ (フラグパターン)および $7D_{\text{H}}$ (エスケープ文字)が現れた場合には,エスケープ文字を挿入すると共に,該当データの第6ビットを反転する。従って,PPPにより伝送すべき情報量が増加する可能性がある。

一方,モバイル端末とインターネット上のメディアサーバ間では,ネットワークレベルのプロトコルとしてIPが利用できると共に,トランスポートレベルのプロトコルとしてTCPやUDPを利用できる。TCPは,エラー検出・回復,フロー制御や順序制御等により,信頼性のある通信サービスを提供する。また,UDPはこのような制御を行わないために,信頼性が低いもののオーバーヘッドの少ない通信サービスを提供する。本章では,データリンクレベルに適用したPIAFSによる再送の影響が現れるように,トランスポートレベルにはUDPを適用する。なお,TCPを適用した場合の検討は,第8章で述べる。また,H.323 [Itu96c]では,UDPの上位レイヤにRTP (Real time Transport Protocol)やRTCP (Real Time Control Protocol) [Itu96d]等を適用しているが,本章ではこれらを適用しない。RTP等を適用した場合の検討も,今後の課題である。

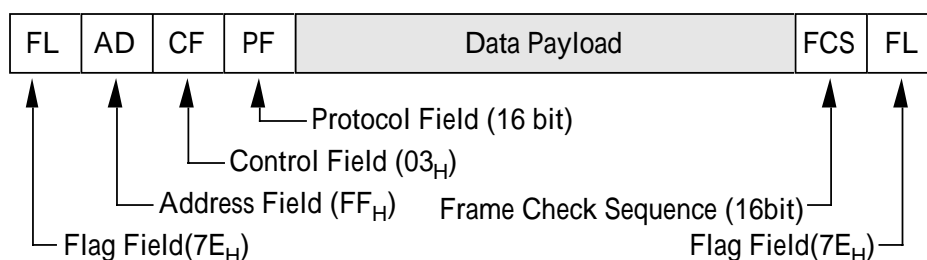


図7.2 PPPフレーム構成  
**Fig. 7.2** PPP frame structure .

## 7.2.2 スライド制御の拡張

本章では、メディア同期制御方式として、第3章で提案したスライド制御を一部拡張して適用する。第3章では、ビデオ MU 到着時において、到着時刻  $A_n^{(1)}$  と目標出力時刻  $t_n^{(1)}$  の差 ( $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$ ) を計測し、その値に応じて  $t_n^{(1)}$  をスライド時間  $S_n^{(1)}$  だけ遅らせていた。しかしながら、音声を手順で伝送することを前提としており、音声 MU の到着遅れには対応していない。一方、本章では、音声とビデオを PIAFS と UDP を適用して伝送する場合を検討の対象とする。すなわち、ビデオ MU のみならず音声 MU も、再送により目標出力時刻より遅れて到着することがある。従って、スライド制御を適用するには、音声 MU の遅延を考慮した拡張を施す必要がある。

これまでのスライド制御では、ビデオ MU が目標出力時刻より遅れて到着した場合、遅れたビデオに音声を再同期させた。特に、スライド制御による目標出力時刻の変更が、音声に及ぼす影響を考慮し、*gradual recovery* と *fast recovery* の二種類の変更方法を採用した。*gradual recovery* は、音声への影響を小さくするために、 $t_n^{(1)}$  を少しずつ変更して徐々にメディア間同期を修復する。また *fast recovery* は、音声への影響は大きいけれども、 $t_n^{(1)}$  を一度に大きく変更し、早急にメディア間同期を回復する。

本章では、更に、音声 MU の到着遅れに対応するために、次のようにスライド制御を拡張する。すなわち、 $m$  番目の音声 MU が目標出力時刻より遅れて到着した場合、遅れた音声にビデオを再同期させる<sup>3</sup>。ここで、音声 MU の到着遅れは、音声の中断を引き起こすために主観的な影響が大きい。しかし、スライド制御によりビデオの目標出力時刻を変更しても、主観的な影響は音声より小さい。そこで、音声 MU の到着遅れ時間 ( $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$ ) をもとに目標出力時間を一度に大きく変更し、早急にメディア間同期を回復する。

ここで第3章と同様に、*gradual recovery* によるスライド制御を実行するための  $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$  のしきい値を  $T_{h1}$ 、そのスライド時間を  $\tau_1$ 、スライド制御を実行できる最小許容時間間隔を  $\Delta_1$  と定義する。また、*fast recovery* によるスライド制御を実行するための  $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$  のしきい値を  $T_{h2}$ 、そのスライド時間を  $\tau_2$  ( $\tau_2 < \tau_1$ )、スライド制御を実行できる最小許容時間間隔を  $\Delta_2$  と定義する。このとき、以下の条件に応じてスライド制御を実行する。なお、1 ビデオ MU に対し一回のスライド制御しか実行されない。

- (a)  $A_m^{(2)} > t_m^{(2)}$ , かつ  $T_{h2} < A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$ :  $S_n^{(1)} = S_m^{(2)} = \tau_2$  (fast recovery)
- (b)  $A_m^{(2)} > t_m^{(2)}$ , かつ  $T_{h1} < A_n^{(1)} - t_n^{(1)} < T_{h2}$ :  $S_n^{(1)} = S_m^{(2)} = \tau_1$  (gradual recovery)
- (c)  $A_m^{(2)} > t_m^{(2)}$ , かつ  $A_n^{(1)} - t_n^{(1)} < T_{h1}$ :  $S_n^{(1)} = S_m^{(2)} = 0$
- (d)  $t_m^{(2)} < A_m^{(2)}$ ,  $S_n^{(1)} = S_m^{(2)} = A_m^{(2)} - t_m^{(2)} + \tau_m^{(2)}$

なお、第4章で提案した受信バッファのビデオ情報量を利用した制御は、実装の都合により、本章では適用しない。

<sup>3</sup> この場合、音声メディア同期の基準となるマスターメディア、ビデオがマスターメディアに再同期しながら出力するスレーブメディアになる。

## 7.3 実験システム

本章では、PHSの無線通信環境がメディア同期性能に及ぼす影響を定量的に評価するために、実験システムを構築する。

### 7.3.1 実験システムの構成

図7.3に実験システムの構成を示す。PIAFSアダプタとPHS移動局を具備したモバイル端末(MMX Pentium 166 MHz, Windows 95)は、PHSの無線区間をシミュレートする疑似電波伝搬環境を介して実験用基地局と接続される。実験用基地局は、ISDN回線およびISDN交換機を介してダイヤルアップルータと接続される。更に、ダイヤルアップルータは、Ethernet(10BASE-T)を介してメディアサーバ(MMX Pentium II 266 MHz, Windows NT)とつながっている。ここで、PIAFSアダプタとダイヤルアップルータ間のデータリンクレベルの protocols としてPIAFSを適用する。そして、モバイル端末はダイヤルアップルータにPPP接続する。更に、モバイル端末とメディアサーバ間のトランスポートレベルの protocols として、UDPを適用する。

回線容量の小さいPHSにおいてメディアの品質をある程度確保するためには、H.263の符号化能力を考慮すると、64kbit/s程度の伝送容量が必要である。PHSでは、64kbit/s非制限デジタルベアラサービスの提供も予定されているが、現時点では、32kbit/s非制限デジタルベアラサービスしか利用できない。そこで本実験では、2台のモバイル端末

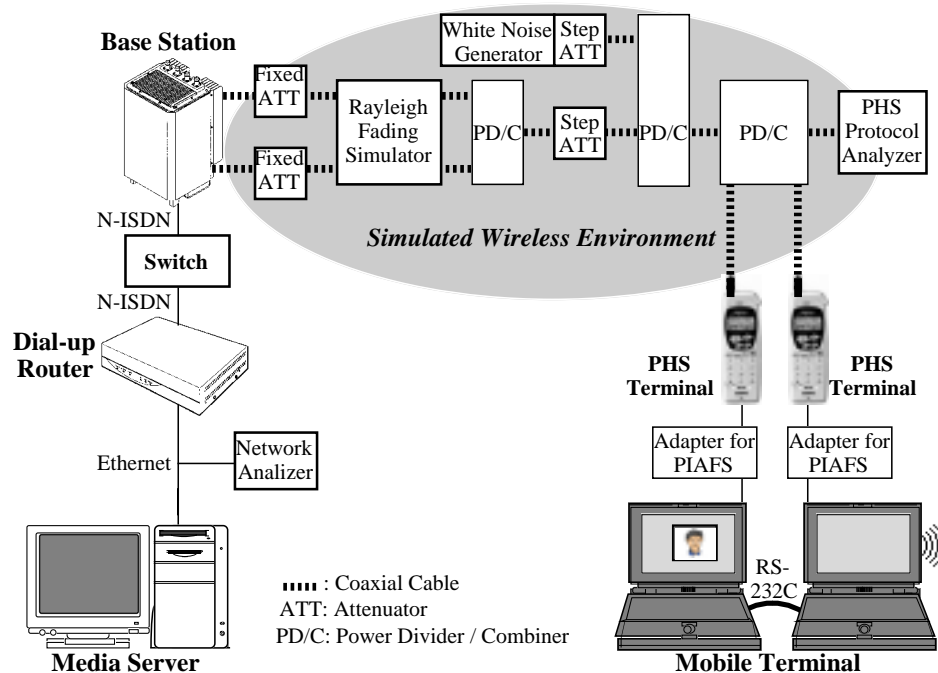


図7.3 実験システムの構成

Fig. 7.3 Block diagram of the experimental system.

が、それぞれ32kbit/s非制限デジタルベアラサービスにPIAFSを適用してダイアルアップルータにPPP接続し、別々に受信したビデオと音声を同期出力する構成を採用した(但し、将来的には、64kbit/s非制限デジタルベアラサービスを利用することを想定している)。このとき、2台のモバイル端末間では、同期情報をRS-232Cインタフェース(伝送速度:38.4 kbit/s)で交換する。なお、一つの同期情報の交換に要する時間は約2 msであり、この手法が同期性能に与える影響は十分小さい。また、メディアサーバは、H.263で符号化されたビデオ情報と、G.726 (24 kbit/s) [Itu90]で符号化された音声情報を蓄積している。そして、各MUをMU発生間隔 $T_{n,n+1}^{(i)}$ に従ってMU単位で送信する。

一方、疑似電波伝搬環境では、PHS移動局と実験用基地局を、レイリーフェージング・シミュレータ、分配/合成器、固定および可変の減衰器を介して同軸ケーブルで接続する。ここで、実験用基地局の複数のアンテナ端子は、固定の減衰器(36 dB)を介してレイリーフェージング・シミュレータに接続される。更に、これらの無線出力は分配/合成器で一つに合成され、可変の減衰器(0 ~ 121 dBの範囲で1 dB単位で変更可能)を介した後、白色雑音発生器の信号出力と別の分配/合成器で一つに合成される。そして、PHS移動局とPHSプロトコルアナライザに別の分配/合成器で分配される。なお、白色雑音発生器は可変の減衰器(0 ~ 60 dBの範囲で1 dB単位で変更可能)を内蔵している。

この疑似電波伝搬環境では、可変の減衰器により無線キャリアの伝送路損失、および白色雑音発生器に内蔵された可変の減衰器により白色雑音の出力レベルを変更できる。PHS移動局側における無線キャリアの受信レベルは、PHSプロトコルアナライザのスペクトラムアナライザ機能により無線キャリア周波数ごとに測定できる。また、白色雑音の受信レベルも同様に測定でき、これらの測定値からCNRを求める。なお、実験に際しては、PHS移動局内の熱雑音の影響が無視できるように、すなわち、無線キャリアの受信レベルが十分大きくなるように、可変減衰器の値を選択した。更に、疑似電波伝搬環境では、レイリーフェージング・シミュレータにより、異なるフェージング周波数のフェージングを付加できる。付加するフェージングは無相関とする。なお、実験用基地局の送信出力は500 mW、PHS移動局のそれは10 mWである。また、実験システムが通信事業者の制御チャネルの影響を受けないように、1,916.150 MHz(キャリア番号:71)を制御チャネルとして使用した。

なお、本実験では、無線通信環境における影響に焦点を合わせて議論を行う。そのために、Ethernet上に遅延揺らぎを発生させる仕組みは設けていない。インターネットにおける遅延揺らぎがメディア同期に及ぼす影響は、第8章で調べる。また、本実験システムでは、複数の無線キャリアに対し、同様のフェージングや白色雑音を付加している。無線キャリアごとに異なるフェージングや白色雑音を付加した場合の性能評価も、今後の課題である。

### 7.3.2 メディアの仮定

実験で使用する H.263 圧縮ビデオ情報と G.726 音声情報の作成に関し、以下の仮定を置く。

**A1.** H.263 で規定された四つのコーディング・オプションは、いずれも使用しない。

**A2.** 1 ビデオフレームを 1 ビデオ MU とする。ビデオの目標符号発生レートを 20 kbit/s、目標 MU レートを 15 MU/s とする。

**A3.**  $n$  番目のビデオ MU の発生時刻  $T_n^{(1)}$  は、符号化時にビデオフレームに設定された Temporal Reference ( $TR_n$ ) により、 $T_n^{(1)} = TR_n / 30$ 、 $TR_1 = 0$  と与える。

**A4.** 音声の符号発生レートを 24 kbit/s とする。1 MU サイズを 2.4 kbit とする。従って、MU 発生レートは 10 MU/s となり、 $n$  番目の MU の発生時刻  $T_n^{(2)}$  を  $T_n^{(2)} = (n - 1) / 10$  と与える。

**A5.** 使用した蓄積メディアの諸元を以下のようにする。

- |          |                          |
|----------|--------------------------|
| ・メディアソース | 人の上半身の画像                 |
| ・画像サイズ   | sub-QCIF (128 × 96 ピクセル) |
| ・記録時間    | 241.0 s                  |

なお、PPP のエスケープシーケンスにより伝送すべき情報量は増加する。特に、H.263 では、各ピクチャの先頭を示す PSC (Picture Start Code) として、エスケープシーケンスの対象となる  $00_H$  を必ず 2 バイト発生する等、伝送すべき情報量が増加する傾向が強い。従って、本実験では、このような情報量の増加を考慮してビデオの目標符号発生レートを選択している。例えば、本実験で使用する目標符号発生レートが 20 kbit/s のビデオストリームは、エスケープシーケンスにより 19.14% 増加、PPP ヘッダにより 5.00% 増加し、単位時間あたりの伝送すべき情報量は 24.8 kbit/s になる。なお、24 kbit/s の音声ストリームは、エスケープシーケンスにより 4.74% 増加、PPP ヘッダにより 2.67% 増加し、単位時間あたりの伝送すべき情報量は 25.8 kbit/s になる。

### 7.3.3 メディア同期制御のパラメータ

メディア同期制御の各パラメータを以下のように定める。

**A1.** ビデオ MU の到着遅れに伴うスライド制御 (gradual recovery および fast recovery) において、各パラメータの値は第 3 章と同じ値とする。すなわち、 $T_{h1} = 100$  ms、 $T_{h2} = 100$  ms、 $T_{h3} = 1,000$  ms、 $T_{h4} = 2,000$  ms、 $T_{h5} = 4,000$  ms、 $T_{h6} = 60,000$  ms とする。

**A2.** 音声 MU の到着遅れに伴うスライド制御において、 $T_m^{(2)} = 0$  ms とする。

**A3.** 第一ビデオ MU の到着時刻  $A_1^{(1)}$  をもって、メディア同期の基準時刻を定める。従って、第一ビデオ MU の目標出力時刻は  $t_1^{(1)} = A_1^{(1)} + T_1^{(1)}$ 、第一音声 MU の目標出力時刻は  $t_1^{(2)} = t_1^{(1)} + T_1^{(2)} - T_1^{(1)}$  となる。なお、第一ビデオ MU の出力待ち時間は  $T_1^{(1)} = 500$  ms とする。

## 7.4 数値結果

PHSによるインターネットアクセス時の蓄積メディア同期性能を実験により評価した。特に、無線通信環境における影響に焦点を合わせた。その結果を以下に示す。

### 7.4.1 スライド制御の有効性

#### (1) メディア間同期性能

まず、スライド制御の有効性を確認するために、メディア間同期性能を評価する。図7.4にメディア間同期ずれ時間  $\tau_n^{(1-2)}$  の2乗平均値の平方根(RMS: Root Mean Square)とCNRの関係を示す。なお、CNRは移動局側における下りの制御チャンネルの測定値を代表値として使用する。また、フェージングを付加する場合は、これを付加しない場合のCNRを代表値として使用する。図において、スライド制御を適用し(SC: Slide Control)、かつフェージング周波数  $f$  が  $f = 0 \text{ Hz}$ ,  $7 \text{ Hz}$ ,  $70 \text{ Hz}$  の場合を、それぞれ、 $\diamond$ ,  $\square$ ,  $\triangle$  で示す。また、スライド制御を適用せず(NC: No Control)、かつ  $f = 0 \text{ Hz}$ ,  $7 \text{ Hz}$ ,  $70 \text{ Hz}$  の場合を、それぞれ、 $\diamond$ ,  $\square$ ,  $\triangle$  で示す。なお、 $f = 0 \text{ Hz}$  は静止時、 $f = 7 \text{ Hz}$  は約  $4 \text{ km/h}$  の低速移動時、 $f = 70 \text{ Hz}$  は約  $40 \text{ km/h}$  の高速移動時におけるフェージング環境に相当する。

図7.4によれば、スライド制御の適用によりメディア間同期性能が改善していることがわかる。また、CNRが小さい場合には、フェージングの影響が顕著に現れている。文献[Ste96]は、 $\tau_n^{(1-2)}$  が  $80 \text{ ms}$  以内であればメディア間同期は良好な状態であり、 $160 \text{ ms}$  以

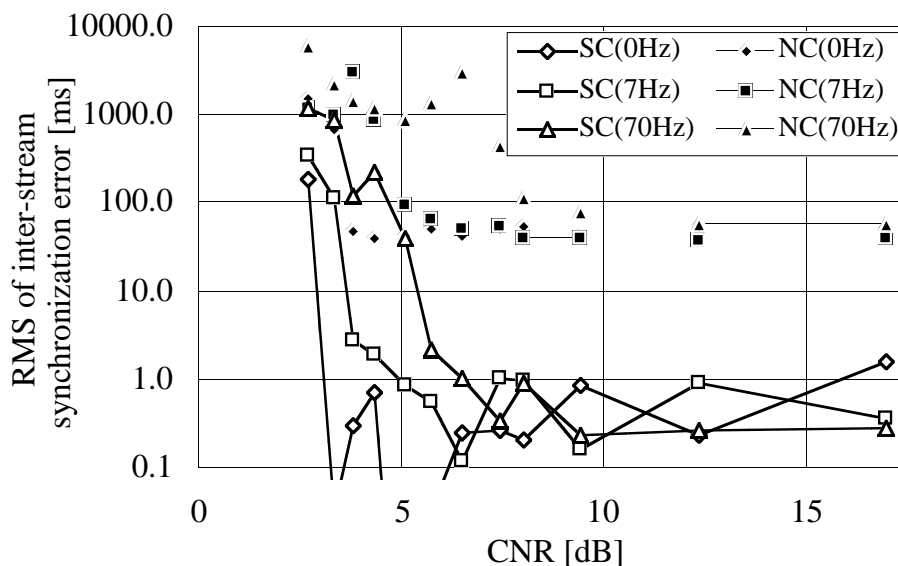


図7.4  $\tau_n^{(1-2)}$  のRMSとCNRとの関係

Fig. 7.4 Root mean square of  $\tau_n^{(1-2)}$  versus CNR.



上であれば同期外れの状態であると報告している。この値を用いて同期品質を評価する。スライド制御を適用すれば、 $f = 0 \text{ Hz}$ 、 $f = 7 \text{ Hz}$ の場合、CNR 3.8 dBにおいて極めて良好なメディア間同期を維持できると言える。しかしながら、 $f = 70 \text{ Hz}$ では、CNRが4.3 dB程度であっても同期外れとなることがある。一方、スライド制御を適用しなくても、 $f = 0 \text{ Hz}$ ではCNR 3.8 dBにおいて、また、 $f = 7 \text{ Hz}$ ではCNR 5.1 dBにおいて、ほぼ良好な同期を維持できる。しかしながら、 $f = 70 \text{ Hz}$ では、CNR 7.4 dBにおいて同期外れとなる。

なお、本実験では、情報チャンネル(TCH:Traffic Channel)の切替が発生した回数をPHSプロトコルアナライザによって同時に計測している。TCHの切替とは、使用しているTCHの受信レベルや回線品質等が劣化した場合に、良好な通信品質を維持するために別のTCHに変更を行う無線チャンネル制御方式である。TCHの切替時には、少なくとも数100ms程度の間、通信が中断するため、PIAFSのARQフレームの一部が欠落する。従って、再送による遅延が増加し、メディア同期品質に影響を及ぼす可能性がある。しかしながら、本実験では、いずれの測定条件においても、TCHの切替が発生していないことを確認した。TCHの切替や、TCHの切替時に接続する基地局が変わるハンドオーバーがメディア同期性能に与える影響は、今後の検討課題である。

## (2) メディア内同期性能

つぎに、メディア内同期性能を出力間隔の変動係数  $C_v^{(i)}$  により評価する。 $C_v^{(i)}$ はMUの出力間隔のばらつきの程度を表し、この値が小さいほど出力が滑らかである。図7.5、図7.6に、それぞれビデオと音声の出力間隔の変動係数  $C_v^{(i)}$  とCNRとの関係を示す。

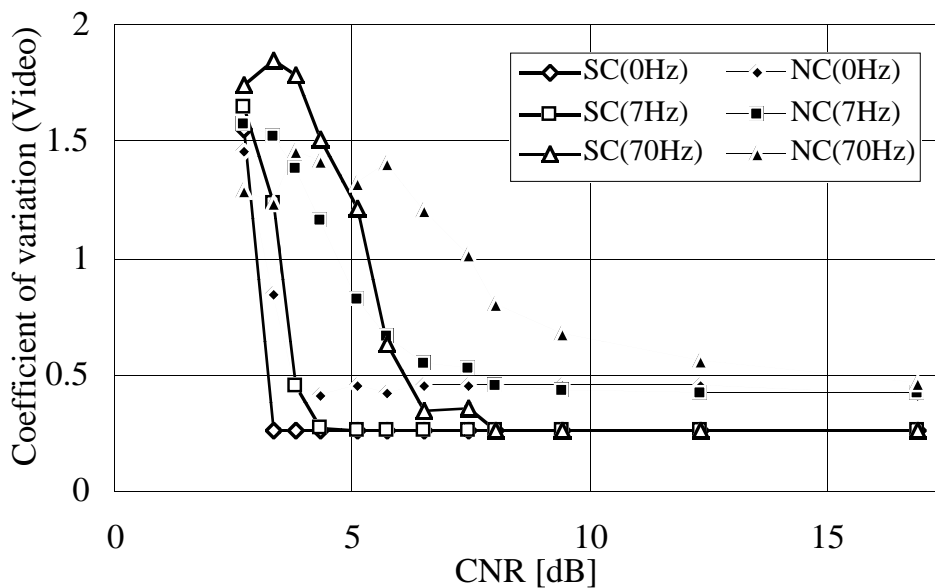


図7.5 ビデオMUの出力間隔の変動係数とCNRとの関係

Fig. 7.5 Coefficient of variation of output interval for video versus CNR.

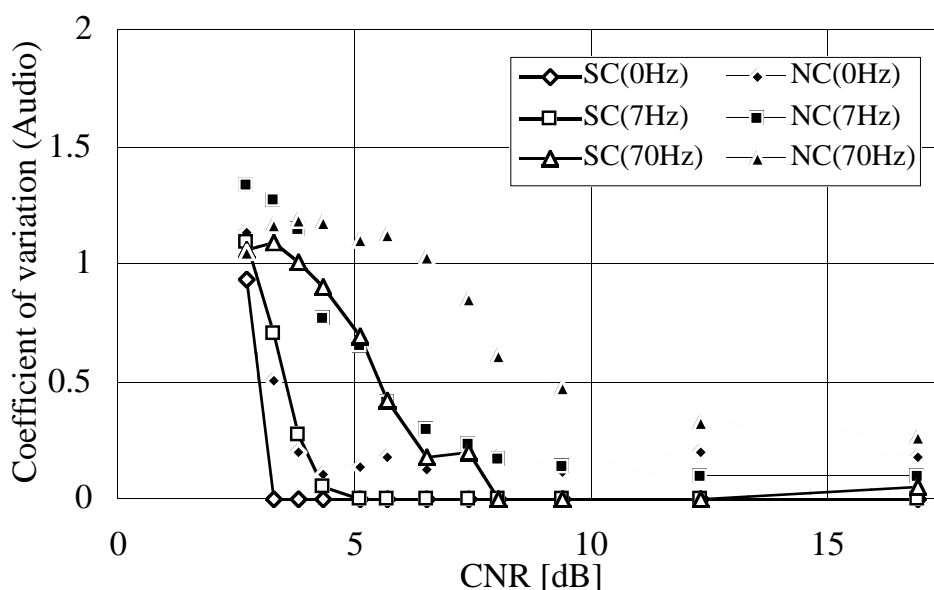


図7.6 音声MUの出力間隔の変動係数とCNRとの関係

Fig. 7.6 Coefficient of variation of output interval for audio versus CNR.

これによれば、スライド制御の適用によりビデオ、および音声の出力間隔の変動係数を小さくできることがわかる。すなわち、スライド制御がメディア内同期にも有効であると言える。但し、CNRが小さく、かつフェージングを付加した場合には、スライド制御によりビデオの変動係数が増加することがある。このときには、7.4.2節で示すようにビデオMUおよび音声MUの欠落が多く発生している（図7.11、図7.12参照）。特に、スライド制御適用時に音声MUが欠落すると、欠落した音声MUに対応するビデオMUは、次の音声MUを受信したときに連続して出力される。そのために、ビデオの変動係数の値が大きくなる。

### (3) 総出力時間の増加

つぎに、各メディアの総出力時間を調べる。図7.7、図7.8に、それぞれビデオと音声の総出力時間とCNRの関係を示す。

これによれば、CNRが小さく、かつフェージングを付加した場合において、ビデオ、音声とも総出力時間が顕著に増加している。スライド制御を適用しない場合では、伝送誤りによるPIAFSの再送が遅延を増加させたために、総出力時間も増加する。またスライド制御を適用した場合は、再送による遅延の増加に加えて、スライド制御による目標出力時刻の変更が、総出力時間を更に増加させる。しかしながら、 $f = 70 \text{ Hz}$ でCNRが極端に小さくなければ、総出力時間の増加は多くても10 s程度であり、使用した蓄積メディアの記録時間(241.0 s)と比較すれば、実用上問題とならない大きさである。なお、スライド制御の適用時には、音声とビデオの総出力時間がほぼ同じ値になっている。

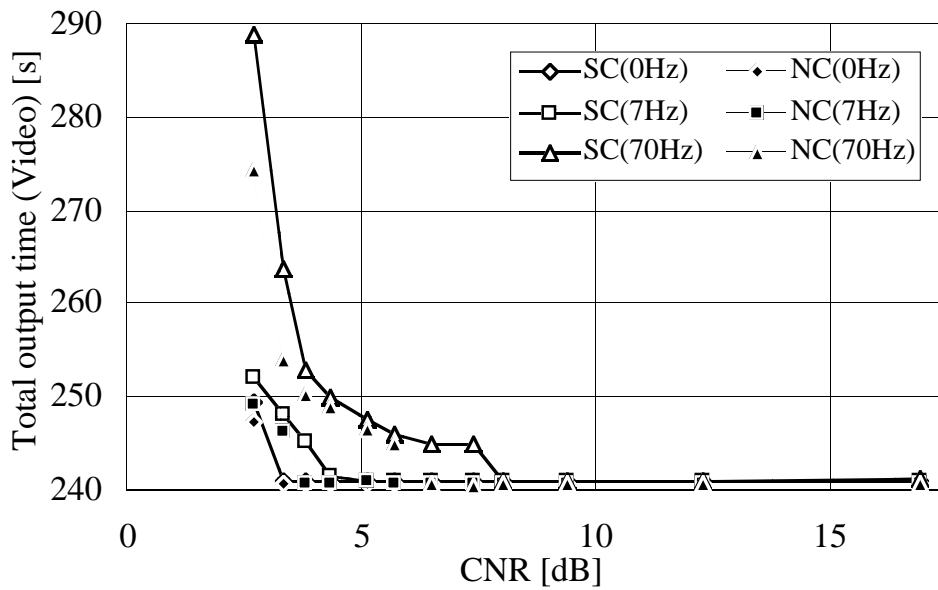


図7.7 ビデオの総出力時間とCNRとの関係

Fig. 7.7 Total output time of video versus CNR.

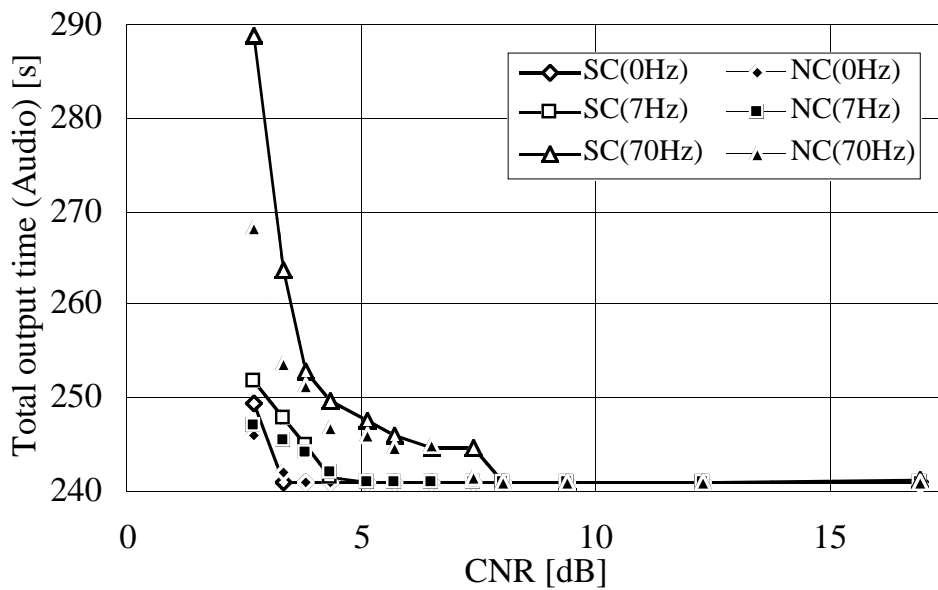


図7.8 音声の総出力時間とCNRとの関係

Fig. 7.8 Total output time of audio versus CNR.

#### (4) 平均 MU 出力レート

つぎに、各メディアの平均 MU 出力レートを調べる。図 7.9、図 7.10 に、それぞれビデオと音声の平均 MU 出力レートと CNR の関係を示す。

これによれば、スライド制御の適用の有無が平均 MU 出力レートに及ぼす影響は十分小さいが、フェージングによる影響は顕著であると言える。平均 MU 出力レートの低下は、総出力時間の増加によっても引き起こされるが、7.4.2 節で示すようにビデオ MU および音声 MU の欠落が大きく影響していると考えられる。(図 7.11, 12 参照)。なお、 $f = 0 \text{ Hz}$ ,  $7 \text{ Hz}$  の場合、CNR = 4.3 dB においてビデオの平均 MU 出力レートの低下はほとんど無く、動きが滑らかなビデオが得られている。

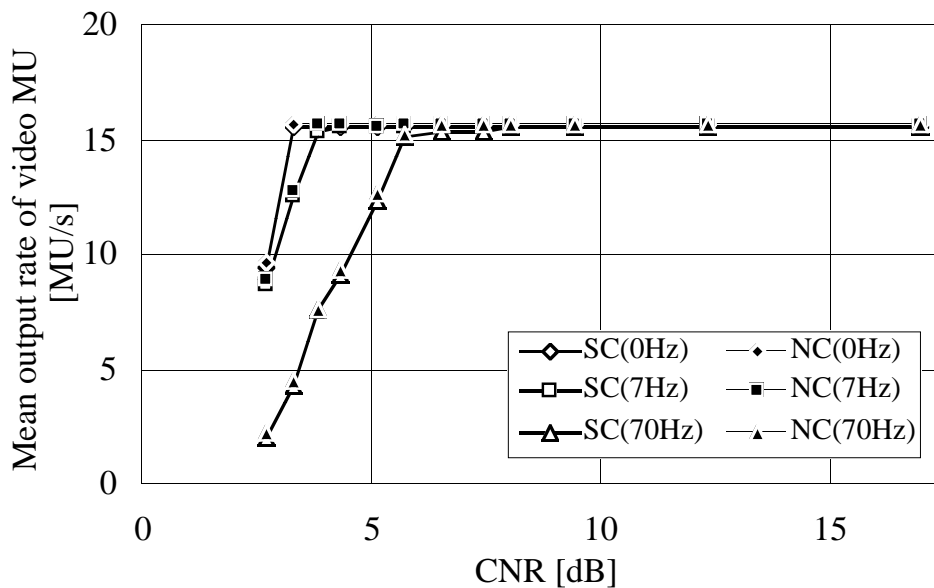


図7.9 ビデオの平均MU出力レートとCNRとの関係

Fig. 7.9 Mean output rate of video versus CNR.

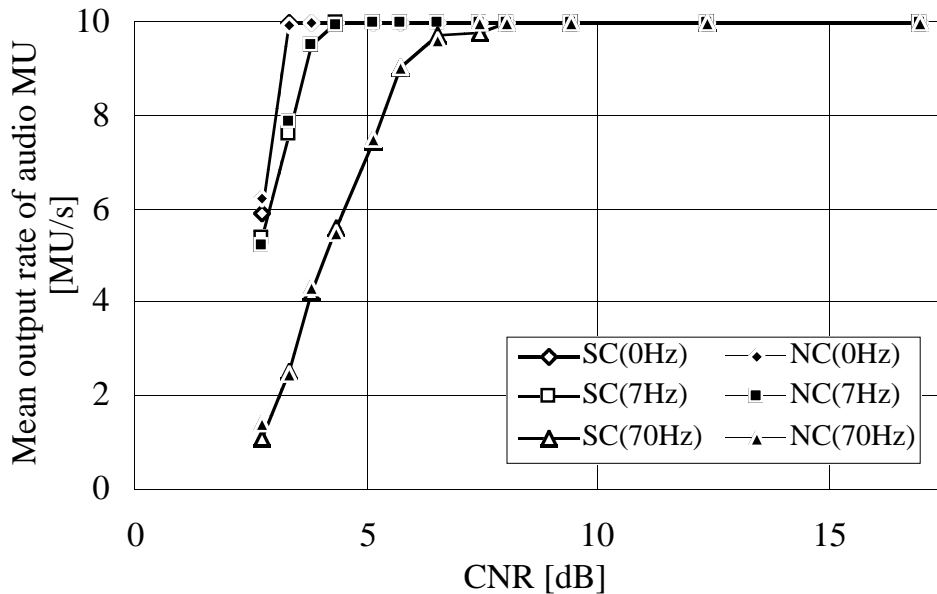


図7.10 音声の平均MU出力レートとCNRとの関係

Fig. 7.10 Mean output rate of audio versus CNR.

#### 7.4.2 UDP データグラムの欠落

本章では、モバイル端末とメディアサーバ間のトランスポートレベルのプロトコルとしてUDPを適用している。従って、ネットワークの状況によっては、UDPデータグラムの欠落が発生する可能性がある。そこで本節ではUDPデータグラムの欠落状況を調べる。

##### (1) MUの欠落率

図7.11, 図7.12に、それぞれビデオと音声のMU欠落率とCNRとの関係を示す。なお、メディアサーバは、各メディアをMU単位で送信するので、MU欠落率はUDPデータグラムの欠落率に等しい。図によれば、フェージングがMUの欠落率に大きな影響を及ぼしていることがわかる。例えば、 $f = 0 \text{ Hz}$ ,  $f = 7 \text{ Hz}$ の場合、CNR 4.3 dBであれば、ビデオMUや音声MUの欠落は発生しない。しかし、 $f = 70 \text{ Hz}$ の場合、CNRが7.4 dB以下になるとMUの欠落が発生する。

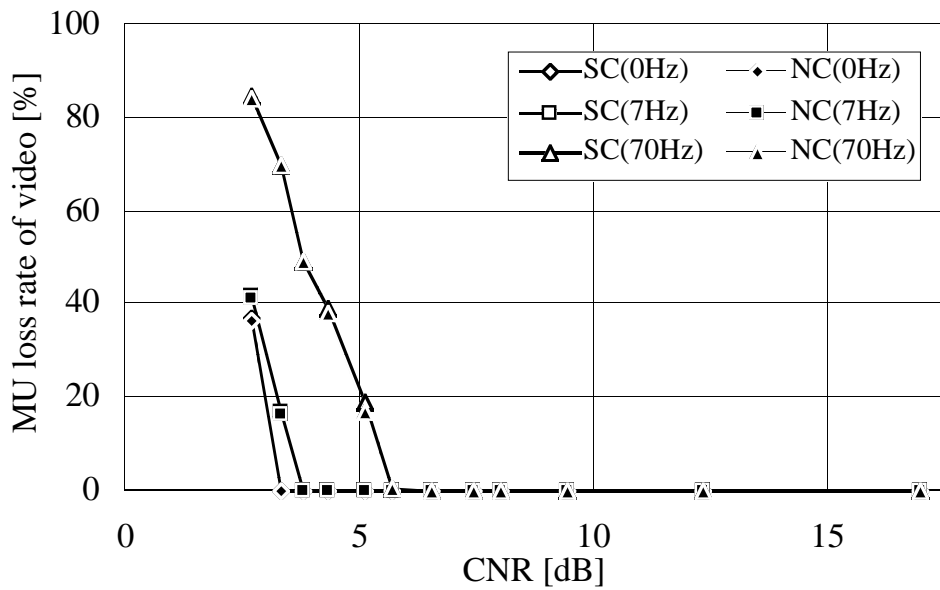


図7.11 ビデオMUの欠落率とCNRとの関係

Fig. 7.11 MU loss rate for video versus CNR.

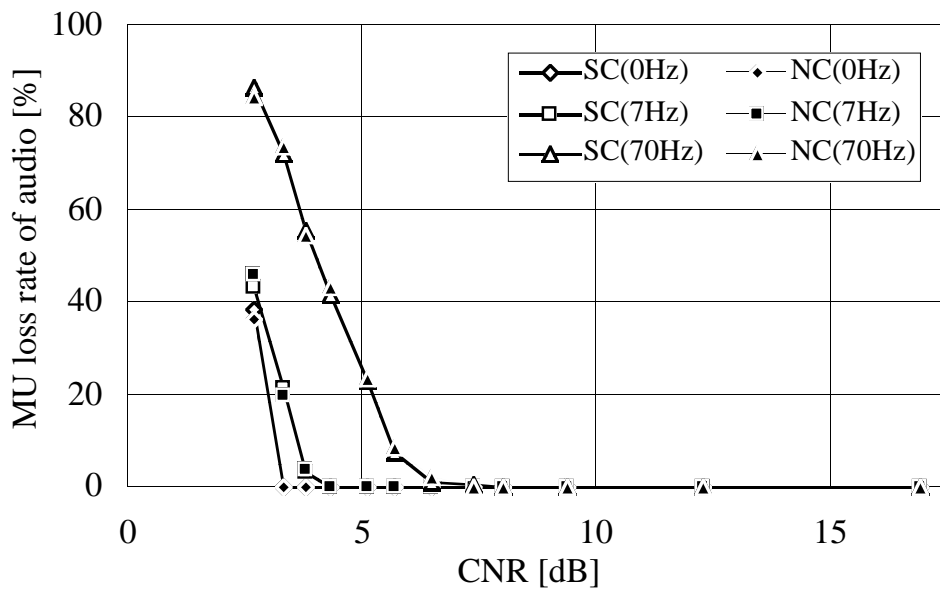


図7.12 音声MUの欠落率とCNRとの関係

Fig. 7.12 MU loss rate for audio versus CNR.

## (2) MUの欠落原因

ここで、MUの欠落原因を調べるために、到着時刻と目標出力時刻の差( $A_n^{(i)} - t_n^{(i)}$ )の時間的経過を調べる。特に"NC"の場合、この値により各MUの遅延状況がわかる。図7.13に、 $CNR = 5.1 \text{ dB}$ 、 $f = 70 \text{ Hz}$ の場合における音声MUの $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$ の時間的経過を示す。但し、MUが欠落した場合は、横軸上に  $\blacktriangle$  をプロットする。

これによれば、通信開始後、遅延が徐々に増加していることがわかる。これは、伝送誤りによりPIAFSの再送が発生したためである。そして、その値が約5 sに達した以後、MUの欠落が発生している。このとき、メディアサーバにおいて、UDPデータグラムが欠落は発生していないことをEthernetに接続したネットワークアナライザによって確認した。このことは、ダイヤルアップルータの送信待ちバッファがオーバーフローし、UDPデータグラムが欠落したことを意味している。すなわち、UDPではフロー制御が適用されておらず、また、メディアサーバでは各MUをMU発生間隔  $T_{n, n+1}^{(i)}$  に従って送信するために、オーバーフローが発生したものである。また、符号発生レートが高い音声のほうがオーバーフローを発生しやすいために、音声のMU欠落率がビデオよりも少し高くなった(図7.11, 図7.12)。従って、CNRが小さい、若しくは、CNRがある程度大きくてもフェージング周波数が大きな通信環境では、フロー制御やトラヒック制御の適用が必要である。

また、図7.13に示した場合に限らず、MUが欠落した他の場合においても、ダイヤルアップルータの送信待ちバッファがオーバーフローしたときのみ、MUが欠落することを確認した。このことは、ダイヤルアップルータとモバイル端末間のデータリンクレベルでは、PIAFSの再送機能により信頼性の高いデータ通信が行われていることを意味する。

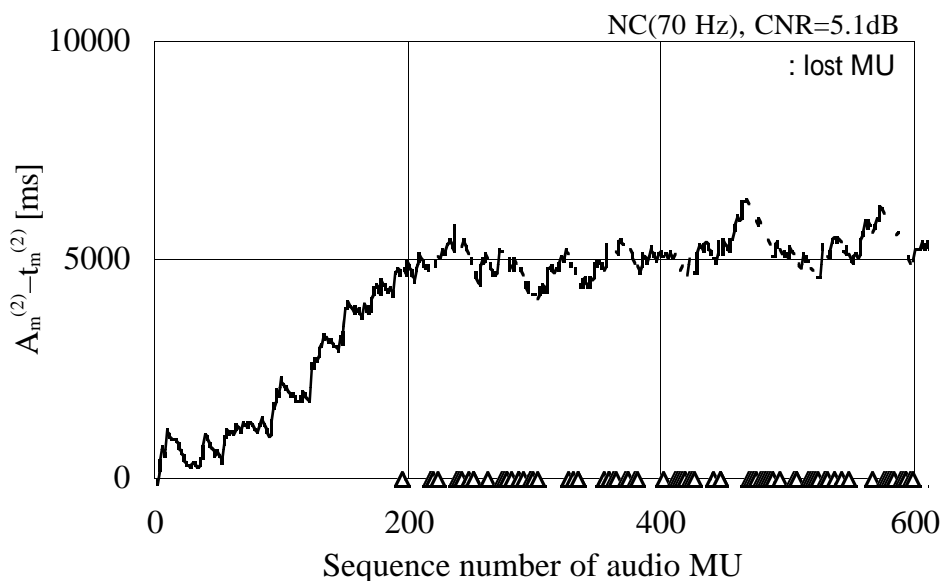


図7.13  $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$ の時間的経過

Fig. 7.13 Progress of  $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$ .

従って、ダイアルアップルータでUDPデータグラムが欠落しなければ、トランスポートレベルにTCPのような信頼性の高い再送機能を適用しなくても、データリンクレベルに適用したPIAFSによる再送機能だけで十分であると言える。また、ダイアルアップルータにおけるUDPデータグラムの欠落を考慮すれば、低オーバーヘッドであるUDPの特徴を残し、かつ、フロー制御やトラフィック制御等の機能を持つ新しいトランスポートプロトコル[Hase97][Carl97]の適用が必要と考える。

なお本実験では、2台のモバイル端末は、それぞれ異なるPPP接続を利用してビデオ若しくは音声を伝送している。すなわち、ダイアルアップルータにおける送信バッファは、ビデオと音声で異なるものを使用している。1台のモバイル端末が64kbit/s非制限デジタルベアラサービスを利用し、1つのPPP接続でビデオと音声を伝送する場合の検討は、今後の課題である。

### (3) 画質や音質への影響

UDPデータグラムの欠落が画質や音質に及ぼす影響について検討する。

まず、CNRが小さい、若しくは、CNRがある程度大きくてもフェージング周波数が大きい無線通信環境を考える。この場合、無線区間に発生した伝送誤りはPIAFSの再送機能により回復できるものの、再送による遅延が大きくなる。そのため、メディア同期も大きく乱れるが、スライド制御の適用により同期品質は改善される。しかしながら、PIAFSの再送による遅延の増大により、ダイアルアップルータの送信バッファのオーバーフローが発生し、MUが欠落する。特に、H.263はフレーム間相関を高度に利用した符号化方式であるため、一つのビデオMUが欠落しただけでも、連続して画質が乱れてしまうことを確認した。一方、音声MUの欠落は音飛びとして認識されるが、一つの音声MUの欠落が、引き続く音声MUの再生に及ぼす影響は確認されなかった。

つぎに、CNRが十分に大きい、若しくは、CNRがある程度小さくてもフェージング周波数が十分に小さい無線通信環境を考える。この場合、無線区間に発生した伝送誤りはPIAFSの再送機能により回復でき、また、MUの欠落も発生しないため、画質の乱れや音飛びは発生しない。但し、再送による遅延の増加がメディア同期を乱すので、スライド制御の適用が有効になる。しかしながら、このような無線通信環境であっても、インターネット環境で欠落が発生し、画質を乱す可能性は十分にある。従って、無線通信環境がどのような状態であるかにかかわらず、画質を維持するためには、欠落を回避、保証する機構が必要である。



## 7.5 むすび

本章では、PHSによるインターネットアクセス時における蓄積メディア同期性能を実験により評価した。特に、PHSの無線通信環境における影響に焦点を合わせて議論を行った。

その結果、スライド制御の適用によりメディア間同期性能が改善できることを確認した。また、モバイル端末とダイアルアップルータ間のデータリンクレベルに適用したPIAFSの再送機能は、無線区間における信頼性の高いデータ通信の実現には十分である。しかしながら、PIAFSの再送による遅延の発生が、メディア同期性能に大きな影響を与えていることを確認した。更に、CNRが小さい、若しくは、CNRがある程度大きくてもフェージング周波数が大きい無線通信環境では、ダイアルアップルータの送信待ちバッファでのオーバーフローにより、UDPデータグラムが欠落し、画質が乱れてしまうことを確認した。従って、画質を維持するには、フロー制御やトラヒック制御等、欠落を回避、保証する機構が必要である。

TCHの切替やハンドオーバーがメディア同期性能に与える影響の系統的な性能評価、およびインターネットで利用されている既存方式との性能比較は、今後の検討課題である。



## 第 8 章

# PHS インターネットアクセス時の 蓄積メディア同期性能評価実験

### 8.1 まえがき

第 7 章では、PHS によるインターネットアクセスにおいて、スライド制御方式を一部拡張して実装し、PHS の無線通信環境が蓄積メディア同期性能に及ぼす影響に焦点を合わせて、実験により性能を評価した。しかしながら、PHS のインターネットアクセスにおけるスライド制御の有効性を確認するには、無線通信環境の影響に加え、インターネットの通信環境の影響をも含めた総合的な性能評価が不可欠である。

そこで本章では、PHS インターネットアクセスにおける蓄積メディア同期性能を、無線通信環境の影響に加え、インターネット上の遅延揺らぎの影響も含めて総合的に性能を評価する。そして、多元的な通信環境におけるスライド制御の有効性を議論する。特に、モバイル端末とダイアルアップルータ間に PIAFS を、モバイル端末とメディアサーバ間に UDP を適用し、メディアサーバから送信された H.263 ビデオ情報と G.726 音声情報を同期・出力するシステムを構成し、実験により性能を評価する。

また、第 7 章では、トランスポートプロトコルに UDP を適用した場合、無線通信環境の悪化がダイアルアップルータにおける UDP データグラムの欠落を引き起こし、同期品質や画質に大きな影響を及ぼすことを確認した。そこで本章では、欠落を保証・回避する機構として、TCP が有効に利用できるか否かを、メディア同期の視点から調べる。

以下、8.2 節では実験環境について述べる。8.3 節では数値結果と性能評価を報告する。なお、本章では、メディア同期制御方式として、第 7 章と同じアルゴリズムのスライド制御を適用する。

### 8.2 実験環境

本章では、PHS の無線通信環境に加え、インターネットの通信環境がメディア同期性能に及ぼす影響を定量的に評価するために、実験システムを構築した。なお、回線容量の小さい PHS において、各メディアの品質をある程度確保するために、2 台のモバイル端末で、それぞれビデオと音声を受信するシステム構成を採用した。

### 8.2.1 実験システム構成

図 8.1 に実験システムの構成を示す。メディアサーバ(MMX Pentium II 266 MHz, Windows NT)はHUBを介して、ルータ(Cisco 2514)とEthernet (10BASE-T)で接続する。更に、ルータとダイヤルアップルータ(MAX 4000)は、2台のPCと共にHUBを介して接続される。2台のPC間では、ビデオ情報および音声情報への干渉トラヒックとして、データの送受信を行う。すなわち、1472バイトの固定長メッセージを指数分布に従う間隔でUDPにより送信し、この送信間隔を変更することでインターネット上の負荷トラヒックを調節する。ダイヤルアップルータは、ISDN 疑似交換機を介して実験用基地局と接続する。実験用基地局は、PHSの無線区間をシミュレートする疑似電波伝搬環境を介して、PHS移動局とPIAFSアダプタを具備したモバイル端末(MMX Pentium 166 MHz, Windows 95)と接続する。

疑似電波伝搬環境では、PHS 移動局と実験用基地局の無線区間を、レイリーフェージング・シミュレータ、分配/合成器、固定および可変の減衰器を介して同軸ケーブルで接続する。また、白色雑音発生器の信号出力を分配/合成器に接続する。このとき、レイリーフェージング・シミュレータにより、フェージング周波数が異なるフェージングを付加できる。更に、可変の減衰器により無線キャリアの伝送路損失、および白色雑音発生器に内蔵された可変の減衰器により白色雑音の出力レベルを変更できる。PHS 移動局側における無線キャリアの受信レベルおよび白色雑音の受信レベルは、PHS プロトコルアナライザにより測定でき、これらの測定値から CNR (Carrier to Noise Ratio)を求める。なお、実験に際しては、PHS 移動局の熱雑音の影響が無視できるように、すなわち、無線キャ

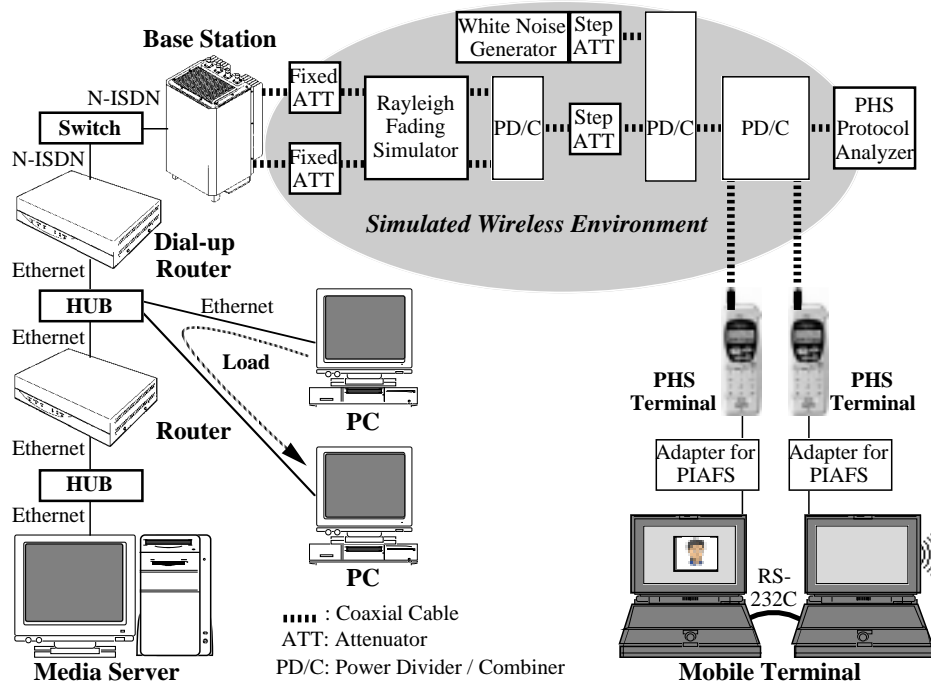


図8.1 実験システムの構成

Fig. 8.1 Block diagram of the experimental system.

リヤの受信レベルが十分大きくなるように、可変減衰器の値を選択した。また、実験システムが通信事業者の制御チャネルの影響を受けないように、1916.150 MHz（キャリア番号：71）を制御チャネルとして使用する。

メディアサーバは、H.263で符号化されたビデオ情報と、G.726 (24 kbit/s)で符号化された音声情報を蓄積している。そして、各MUを発生間隔  $T_{n,n+1}^{(1)}$ に従って、MU単位で送信する。このとき、モバイル端末とメディアサーバ間のトランスポートレベルのプロトコルとして、UDPまたはTCPを適用する。なお、モバイル端末とダイアルアップルータ間のデータリンクレベルには、PIAFSが適用される。

一方、各モバイル端末は、それぞれビデオと音声を受信し、これを同期出力する。このとき、モバイル端末間では、同期情報をRS-232Cインタフェース（伝送速度：38.4 kbit/s）で交換する。なお、一つの同期情報の交換に要する時間は約2 msであり、この手法が同期性能に与える影響は十分小さい。

### 8.2.2 メディアの仮定

実験で使用するH.263圧縮ビデオ情報とG.726音声情報の作成に関し、以下の仮定を置く。

**A1.** H.263で規定された四つのコーディング・オプションは、いずれも使用しない。

**A2.** 1ビデオフレームを1ビデオMUとする。ビデオの目標符号発生レートを20 kbit/s、目標MUレートを15 MU/sとする。

**A3.**  $n$ 番目のビデオMUの発生時刻  $T_n^{(1)}$ は、符号化時にビデオフレームに設定されたTemporal Reference( $TR_n$ )により、 $T_n^{(1)} = TR_n / 30$ 、 $TR_1 = 0$ と与える。

**A4.** 音声の符号発生レートを24 kbit/sとする。1MUサイズを2.4 kbitとする。従って、MU発生レートは10 MU/sとなり、 $n$ 番目のMUの発生時刻  $T_n^{(2)}$ を  $T_n^{(2)} = (n - 1) / 10$ と与える。

**A5.** 使用した蓄積メディアの諸元を以下のようにする。

- ・メディアソース： 人の上半身の画像
- ・画像サイズ： sub-QCIF (128 × 96 ピクセル)
- ・記録時間： 241.0 s

### 8.2.3 スライド制御方式のパラメータ

スライド制御の各パラメータの値は、第7章と同様に定める。すなわち、ビデオMUの到着の遅れに伴うスライド制御において、gradual recoveryのしきい値は  $T_{h1} = 100$  ms、スライド時間は  $t_1 = 100$  ms、最小許容実行間隔は  $T_1 = 1$  sとする。また、fast recoveryのしきい値は  $T_{h2} = 2$  s、スライド時間は  $t_2 = 4$  s、最小許容実行間隔は  $T_2 = 60$  sとする。また、音声MUの到着遅れに伴うスライド制御において、音声の出力待ち時間は  $t_m^{(2)} = 0$  msとする。更に、第一ビデオMUの到着時刻  $A_1^{(1)}$ をもって、メディア同期の基準時刻を定める。従って、第一ビデオMUの目標出力時刻は  $t_1^{(1)} = A_1^{(1)} + t_1^{(1)}$ 、第一音声MUの目標出力時刻は  $t_1^{(2)} = t_1^{(1)} + T_1^{(2)} - T_1^{(1)}$ となる。なお、第一ビデオMUの出力待ち時間は  $t_1^{(1)} = 500$  msとする。

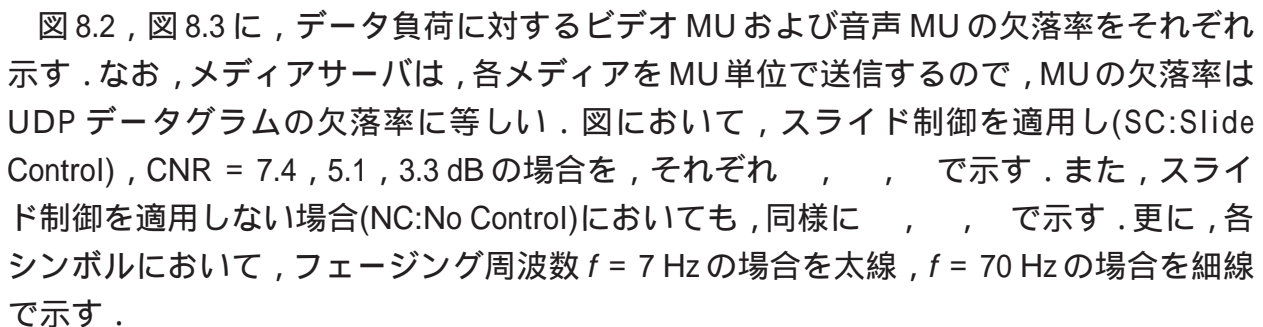
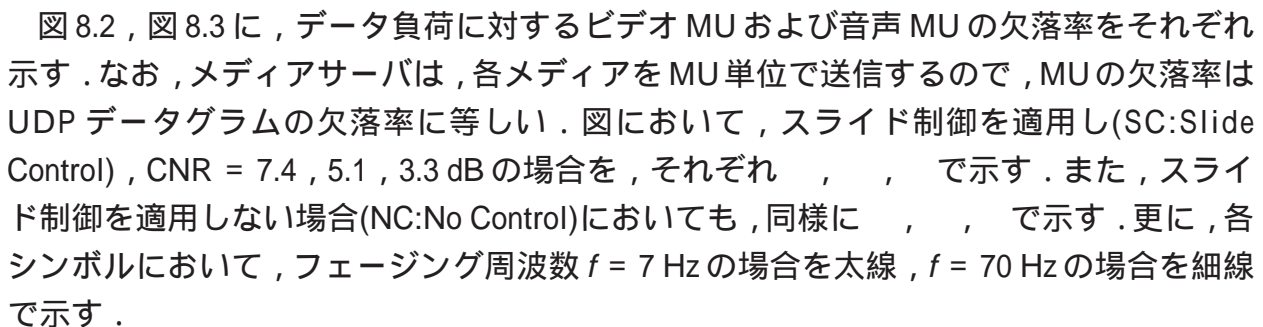
## 8.3 数値結果

PHSによるインターネットアクセスにおいて、UDPを適用した場合、インターネット上の負荷トラヒック（以後、データ負荷と記す）および無線通信環境が蓄積メディアの同期性能にどのような影響を及ぼすかを実験により評価した。更に、MUの欠落を回避するための機構として、TCPの適用が適切であるか否かを同期性能の観点から調べる。以下に、その結果を示す。

### 8.3.1 データ負荷と無線通信環境の影響

第7章では、UDP適用時には、無線通信環境の悪化がダイアルアップルータにおけるMUの欠落を引き起こし、同期性能や画質に大きな影響を及ぼすことを確認した。そこで、本章においても、まず、MUの欠落状況について調べる。

#### (1) MUの欠落

図8.2、図8.3に、データ負荷に対するビデオMUおよび音声MUの欠落率をそれぞれ示す。なお、メディアサーバは、各メディアをMU単位で送信するので、MUの欠落率はUDPデータグラム欠落率に等しい。図において、スライド制御を適用し(SC:Slide Control)、CNR = 7.4, 5.1, 3.3 dBの場合を、それぞれ、で示す。また、スライド制御を適用しない場合(NC:No Control)においても、同様に、で示す。更に、各シンボルにおいて、フェージング周波数  $f = 7$  Hzの場合を太線、 $f = 70$  Hzの場合を細線で示す。

これによれば、無線通信環境が良好なCNR = 7.4 dBの場合、およびCNR = 5.1 dBで  $f = 7$  Hzの場合には、ビデオと音声の欠落率は全般に小さい。また、データ負荷が高くなるにつれて、欠落率が増加している。この欠落はルータ(Cisco 2514)において発生していることを確認した。このとき、各メディアの品質を主観的に評価すると、MUの欠落が画質に少なからず影響を及ぼしていることを確認した。特に、データ負荷が9.0 Mbit/sのとき、画質および音質が大きく劣化していた。また、データ負荷が小さい領域においても、シーンチェンジのビデオフレームが欠落すると、その後の連続するビデオフレームの出力画面が大きく劣化していた。

一方、無線通信環境が悪いCNR = 5.1 dBで  $f = 70$  Hzの場合とCNR = 3.3 dBの場合、データ負荷が小さい場合でも、ビデオおよび音声の欠落率が高くなっている。このとき、ルータのみならず、ダイアルアップルータ(MAX 4000)でもMUの欠落が発生することを確認した。しかも、ルータよりもダイアルアップルータにおいて多くの欠落が発生している。これは、雑音やフェージングの影響により、PIAFSの再送が頻繁に発生するためである。主観的に評価しても、無線通信環境が悪い場合のほうが、画質のみならず音質も大きく劣化していた。

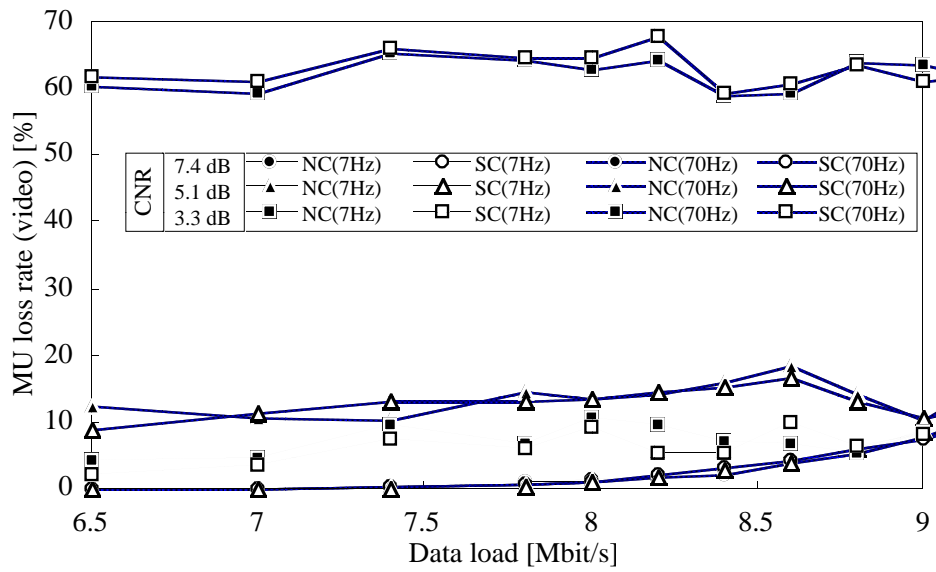


図8.2 ビデオMUの欠落率とデータ負荷との関係

Fig. 8.2 MU loss rate for video versus data load.

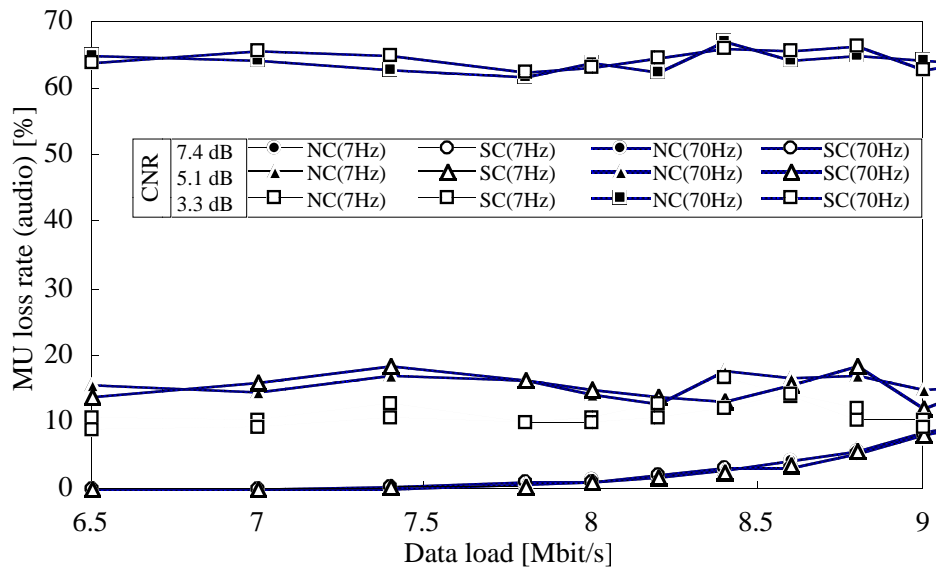


図8.3 音声MUの欠落率とデータ負荷との関係

Fig. 8.3 MU loss rate for audio versus data load.

(2) メディア間同期性能

データ負荷や無線通信環境によるMUの欠落等が、各メディアの品質に及ぼす影響をメディア同期の観点から客観評価する。まず、メディア間同期性能をメディア間同期ずれ時間  $n^{(1-2)}$  の2乗平均値の平方根(RMS: Root Mean Square)により評価する。図8.4にデータ負荷に対する  $n^{(1-2)}$  のRMSの関係を示す。これによれば、スライド制御を適用すれば、誤差を小さくできることが分かる。すなわち、スライド制御はメディア間同期性能の改善に有効である。

無線通信環境が良好な CNR = 7.4 dB の場合、および CNR = 5.1 dB で  $f = 7$  Hz の場合、データ負荷が大きくなるにつれて、誤差が大きくなる傾向にある。これは、データ負荷が大きくなると、遅延揺らぎが大きくなると共にルータでの欠落が増加するためである。

一方、無線通信環境が悪い CNR = 5.1 dB で  $f = 70$  Hz の場合、および CNR = 3.3 dB の場合、データ負荷によらず、誤差が大きくなっている。これは、無線通信環境の悪化に伴い、PIAFSの再送によるMUの遅延揺らぎと、ダイヤルアップルータでの欠落が発生するためである。すなわち、データ負荷よりも無線通信環境のほうが、メディア間同期性能に及ぼす影響が大きいと言える。なお、CNR が小さい程、また、フェージング周波数が大きい程、PIAFSの再送回数が増加し、MUの遅延揺らぎが大きくなるために、同期性能が悪くなる。

文献[Ste96]では、メディア間同期の性能評価尺度として、誤差が 160 ms 以上では、同期外れ状態であると報告している。これよりメディア間同期性能を評価すると、 $f = 70$  Hz で CNR = 5.1, 3.3 dB の場合、スライド制御の有無およびデータ負荷にかかわらず、同期

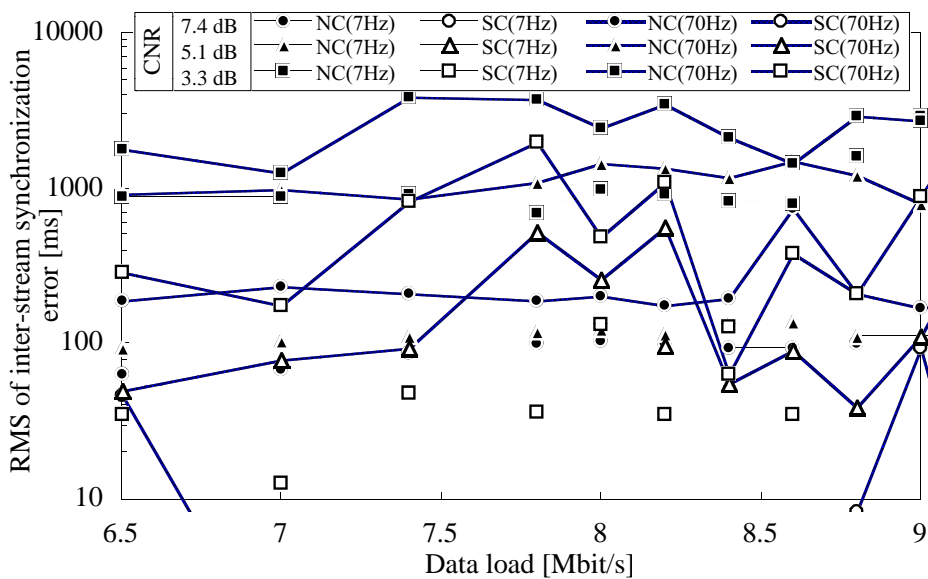


図8.4  $n^{(1-2)}$  のRMSとデータ負荷との関係

Fig. 8.4 Root mean square of  $n^{(1-2)}$  versus data load.



外れとなることが多い。また、 $f = 7 \text{ Hz}$ で  $\text{CNR} = 3.3 \text{ dB}$ の場合、スライド制御を適用しなければ同期外れとなるが、スライド制御を適用すればメディア間同期を維持できる。なお、その他の場合においては、スライド制御を適用しない場合、高負荷時に同期外れとなることがある。しかし、スライド制御を適用すれば、高負荷時においてもメディア間同期を維持できる。

### (3) メディア内同期性能

つぎに、メディア内同期性能を評価する。データ負荷に対するビデオと音声の出力間隔の変動係数を図8.5、図8.6にそれぞれ示す。図8.5より、スライド制御を適用すれば、 $\text{CNR} = 3.3 \text{ dB}$ で  $f = 70 \text{ Hz}$ の場合を除いて、ビデオの変動係数をスライド制御を適用しない場合よりも小さくできる。すなわち、スライド制御によりメディア内同期性能を改善できると言える。なお、 $\text{CNR} = 3.3 \text{ dB}$ で  $f = 70 \text{ Hz}$ の場合は、音声 MU の欠落が非常に多くなる。しかも、スライド制御を適用した場合、ビデオ MU はそれに対応する音声 MU が到着するまで出力を停止し、対応する音声 MU の欠落を確認すると停止していたビデオを連続的に出力する。従って、スライド制御を適用しない場合よりも変動係数が大きくなったものと考えられる。

無線通信環境が良好な  $\text{CNR} = 7.4 \text{ dB}$ の場合、および  $\text{CNR} = 5.1 \text{ dB}$ で  $f = 7 \text{ Hz}$ の場合では、データ負荷が大きくなるにつれて、ビデオの変動係数が大きくなる傾向にある。これは、データ負荷によるルータでの欠落と MU の遅延揺らぎの影響である。一方、無線通信環境が悪い場合には、PIAFSの再送とダイアルアップルータでの欠落の影響により、データ負荷によらず変動係数が大きくなる。つまり、データ負荷よりも無線通信環境の影響のほうが大きいと言える。

なお、スライド制御を適用しない場合、 $\text{CNR} = 7.4, 5.1 \text{ dB}$ では、フェージング周波数が大きいほうが変動係数が大きい。しかしながら、 $\text{CNR} = 3.3 \text{ dB}$ では逆に  $f = 70 \text{ Hz}$ のほうが、変動係数が小さくなっている。これは、MU の欠落が多く発生し、これに伴って MU の平均出力間隔が大きくなったためである。

また、音声の変動係数(図8.6)に関しても、ビデオの変動係数と同様の傾向を確認できる。

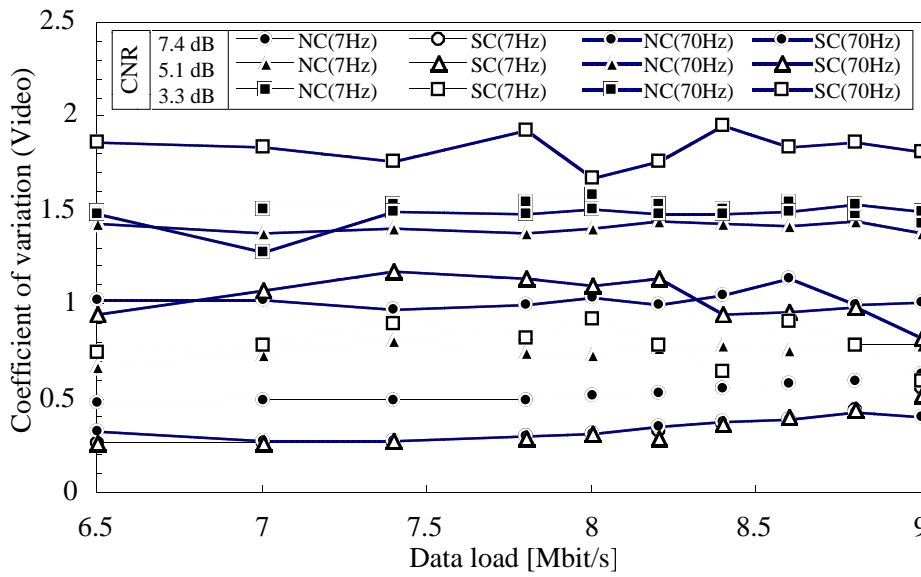


図8.5 ビデオMUの出力間隔の変動係数とデータ負荷との関係

Fig. 8.5 Coefficient of variation of output interval for video versus data load.

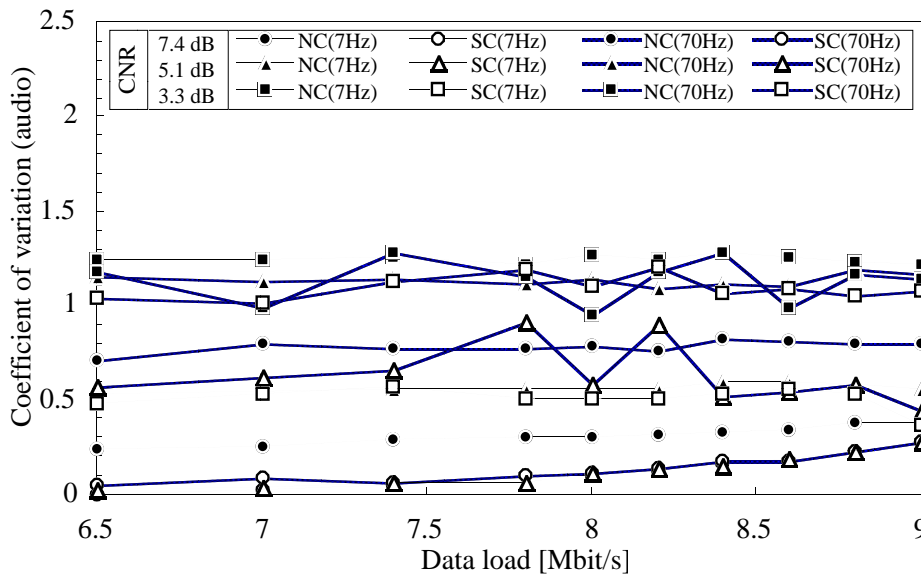


図8.6 音声MUの出力間隔の変動係数とデータ負荷との関係

Fig. 8.6 Coefficient of variation of output interval for audio versus data load.

#### (4) 総出力時間の増加

ビデオと音声の総出力時間とデータ負荷の関係を図 8.7, 図 8.8 にそれぞれ示す。これによれば, 無線通信環境が良好な  $\text{CNR} = 7.4 \text{ dB}$  の場合, および  $\text{CNR} = 5.1 \text{ dB}$  で  $f = 7 \text{ Hz}$  の場合, 総出力時間がほとんど増加していない。一方, 無線通信環境が悪い  $\text{CNR} = 5.1 \text{ dB}$  で  $f = 70 \text{ Hz}$  の場合, および  $\text{CNR} = 3.3 \text{ dB}$  の場合, 総出力時間の増加が顕著である。このとき, スライド制御を適用しない場合には, PIAFSの再送が頻繁に発生するために総出力時間が増加する。また, PIAFSによる頻繁な再送で, ダイアルアップルータでバッファオーバーフローが生じ, MUの欠落が多数発生している。一方, スライド制御を適用した場合には, これに加え目標出力時刻の変更が頻繁に発生し, 総出力時間が増加する。実際にスライド制御を適用時には, 最大約 20 秒の増加が見られる。しかしながら, 実験に使用した蓄積メディアの記録時間 (241 秒) と比較するとその影響は十分に小さいと言える。

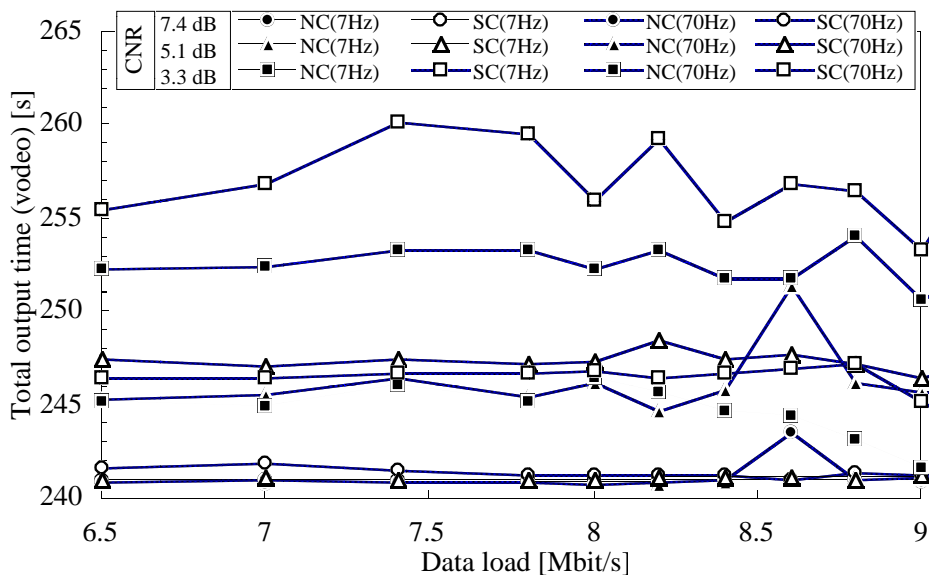


図8.7 ビデオの総出力時間とデータ負荷との関係

Fig. 8.7 Total output time of video versus data load.

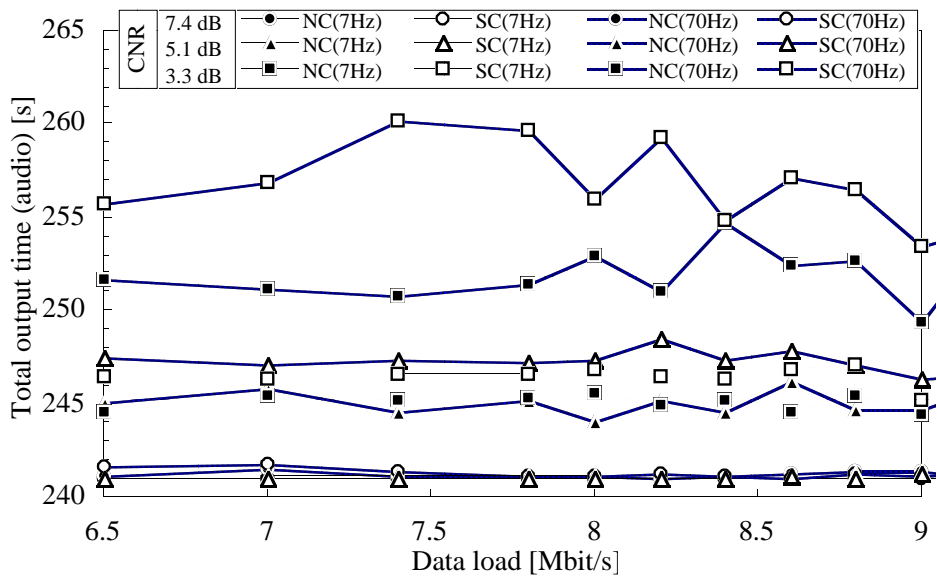


図8.8 音声の総出力時間とデータ負荷との関係

Fig. 8.8 Total output time of audio versus data load.

### 8.3.2 TCP による欠落保証時の同期性能

UDP 適用時には，データ負荷や無線通信環境によっては，ルータおよびダイアルアップルータにおける MU の欠落を引き起こし，メディア同期性能やメディアの品質に大きな影響を及ぼすことを確認した．特に，ダイアルアップルータでは，多数の MU の欠落が引き起こされる．従って，MU の欠落を保証するための機構が必要である．

欠落の保証には，例えば，トランスポートプロトコルに TCP を適用することが考えられる．そこで，本節では，TCP による欠落の保証が及ぼす影響を，主にメディア同期の観点から評価し，TCP の適用が適切か否かを調べる．

#### (1) メディア間同期性能

図 8.9 に，メディア間同期ずれ時間  $n^{(1-2)}$  の RMS とデータ負荷の関係を示す．図において，TCP を適用し，かつ "SC" の場合を  $\diamond$  で，TCP を適用し，かつ "NC" の場合を  $\square$  で示す．また，比較対象として，UDP を適用し，かつ "SC" の場合を  $\triangle$  で，UDP を適用し，かつ "NC" の場合を  $\circ$  で示す．更に，各シンボルにおいて，フェージング周波数  $f = 7 \text{ Hz}$  の場合を太線， $f = 70 \text{ Hz}$  の場合を細線で示す．なお，CNR は  $5.1 \text{ dB}$  とする．

これによると，UDP に比べ TCP のほうが誤差が大きくなる傾向にあり，メディア間同期性能が悪くなることが分かる．TCP 適用時には，スライド制御を適用しない場合，誤差が極めて大きく，メディア間同期性能が著しく悪化している．また，スライド制御を適用しても同期性能は改善されるが，同期外れとなることが多い．これは，高負荷になるにつれて，ルータでの欠落が増加し，TCP の再送が頻繁に発生するためである．この

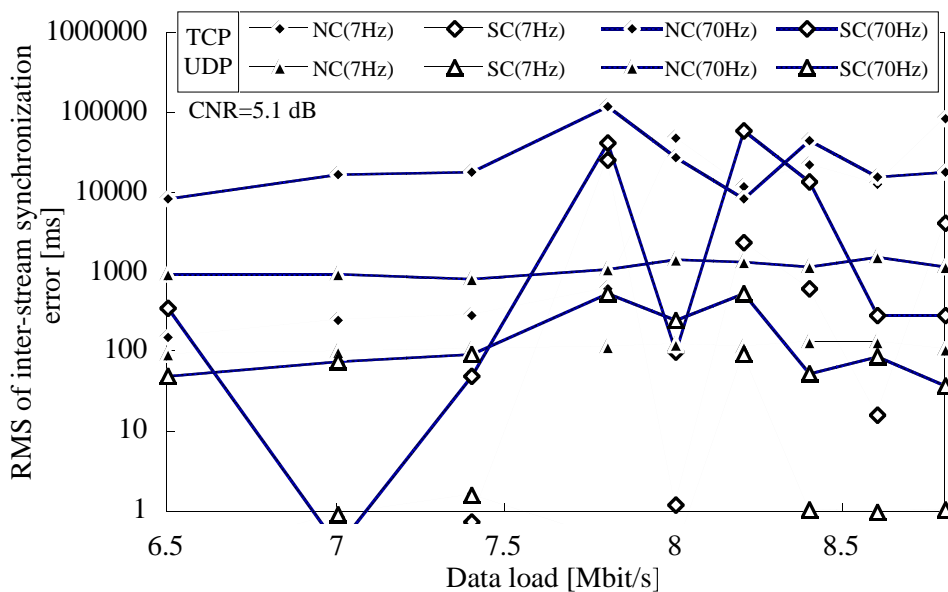


図 8.9  $n^{(1-2)}$  の RMS (TCP vs UDP)

Fig. 8.9 Root mean square of  $n^{(1-2)}$  (TCP vs UDP).

傾向は、無線通信環境が良好な  $f = 7 \text{ Hz}$  の場合に顕著である。

更に、ダイアルアップルータの受信バッファサイズがTCP受信ソケットバッファサイズより小さい場合、ダイアルアップルータで欠落する可能性がある。本実験では、TCP受信ソケットバッファサイズを12,000バイトとしている。これは、ダイアルアップルータの受信バッファが、オーバフローしない値を実験により求めた値である。従って、ダイアルアップルータでの欠落による再送は発生しないものの、TCPのフロー制御により同期性能が劣化する。この傾向は、無線通信環境が悪い  $f = 70 \text{ Hz}$  の場合に顕著であり、特に、“NC”では、データ負荷が小さくてもメディア間同期性能が大きく劣化している。

しかしながら、トランスポートユーザは、ダイアルアップルータの受信バッファサイズを知ることができない。また、その値は使用するダイアルアップルータの種類により異なる。そのため、ソケットバッファサイズの選択によっては、ダイアルアップルータで欠落が発生し、TCPによる再送が行われ、更に性能が劣化する可能性がある。

## (2) メディア内同期性能

つぎに、メディア内同期性能を出力間隔の変動係数により評価する。ビデオの出力間隔の変動係数とデータ負荷の関係を図8.10に、音声の出力間隔の変動係数とデータ負荷の関係を図8.11に、それぞれ示す。

図8.10によれば、UDPに比べTCPのほうが変動係数が大きくなる傾向にあり、メディア内同期性能が悪くなることが分かる。これは、TCPによる再送とフロー制御が、メディア内同期を乱したためである。

UDPの各場合では、9.5 Mbit/s以下のデータ負荷において、ビデオの変動係数はデータ負荷の値によらず、ほぼ同じ値を示している。しかしながら、TCPでは、データ負荷が大きくなるにつれてビデオの変動係数は大きくなる。特に、その傾向は、無線通信環境が悪い  $f = 70 \text{ Hz}$  の場合に顕著である。

また、TCPにおいても、スライド制御を適用すれば、ビデオの変動係数を小さくできる。しかし、データ負荷が大きい領域では、UDPでスライド制御を適用しない場合よりも、変動係数が大きくなることがある。

なお、音声の変動係数（図8.11）においても、同様の傾向を確認できる。

## (3) 総出力時間

ビデオの総出力時間とデータ負荷の関係を図8.12に、音声の総出力時間とデータ負荷の関係を図8.13に、それぞれ示す。

図8.12によれば、UDPに比べTCPのほうがビデオの総出力時間が大きくなる傾向にある。これは、TCPによる再送とフロー制御のためである。

UDPの各場合では、9.5 Mbit/s以下のデータ負荷において、ビデオの総出力時間はデータ負荷の値によらず、ほぼ同じ値を示している。しかしながら、TCPでは、データ負荷が大きくなるにつれてビデオの総出力時間は大きくなる。特に、その傾向は無線通信環境が悪い  $f = 70 \text{ Hz}$  の場合に顕著である。また、スライド制御を適用すれば、ビデオの総出力時間は更に大きくなる傾向にある。

なお、音声の総出力時間（図8.13）においても、同様の傾向を確認できる。

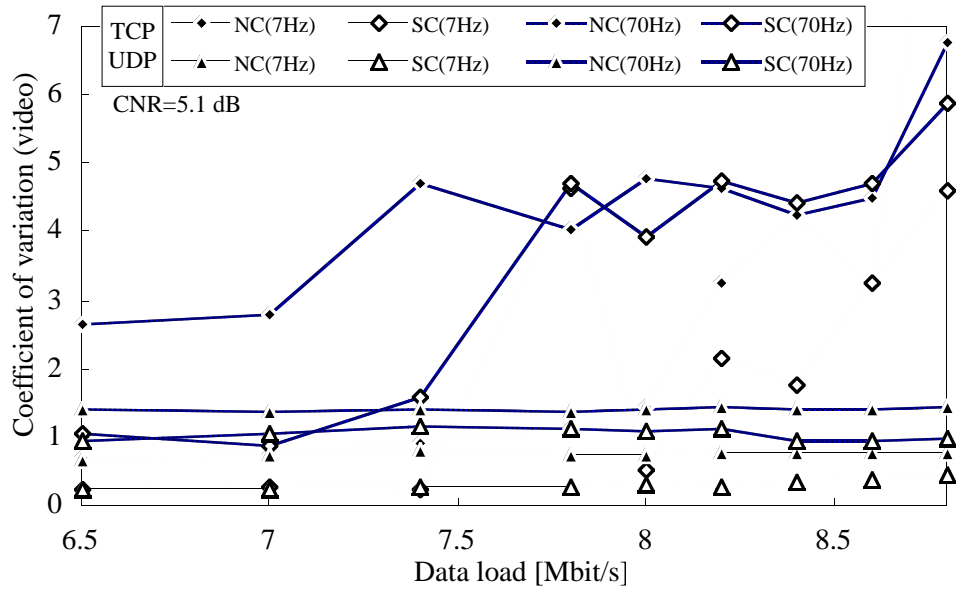


図8.10 ビデオMUの出力間隔の変動係数 (TCP vs UDP)

Fig. 8.10 Coefficient of variation of output interval for video (TCP vs UDP).

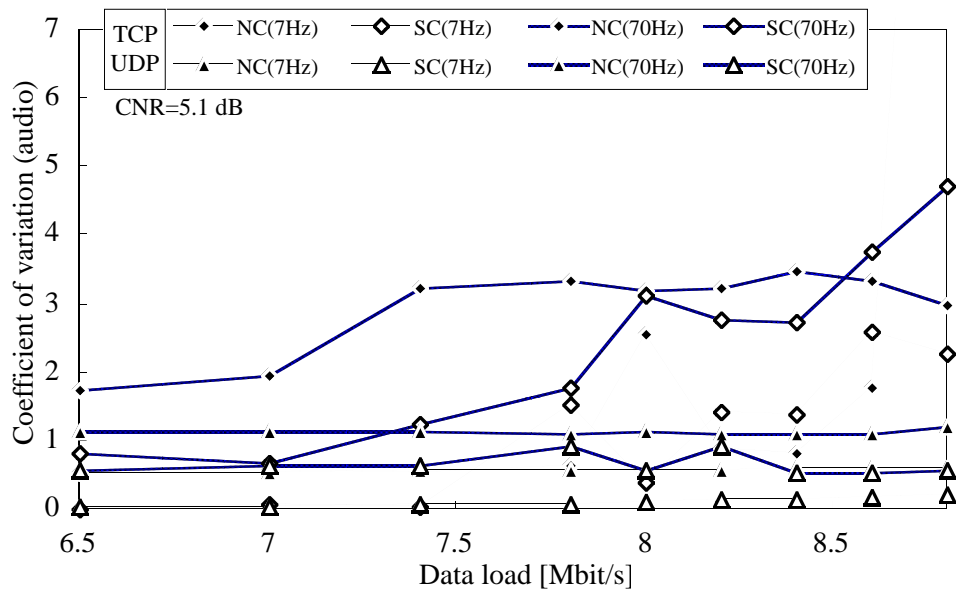


図8.11 音声MUの出力間隔の変動係数 (TCP vs UDP)

Fig. 8.11 Coefficient of variation of output interval for audio (TCP vs UDP).

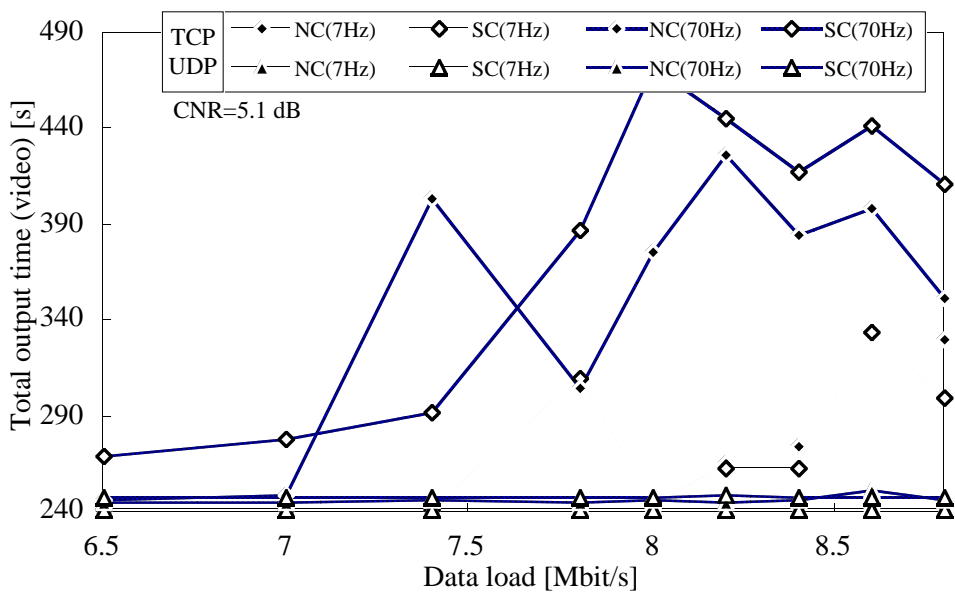


図8.12 ビデオの総出力時間 (TCP vs UDP)  
**Fig. 8.12** Total output time of video (TCP vs UDP).

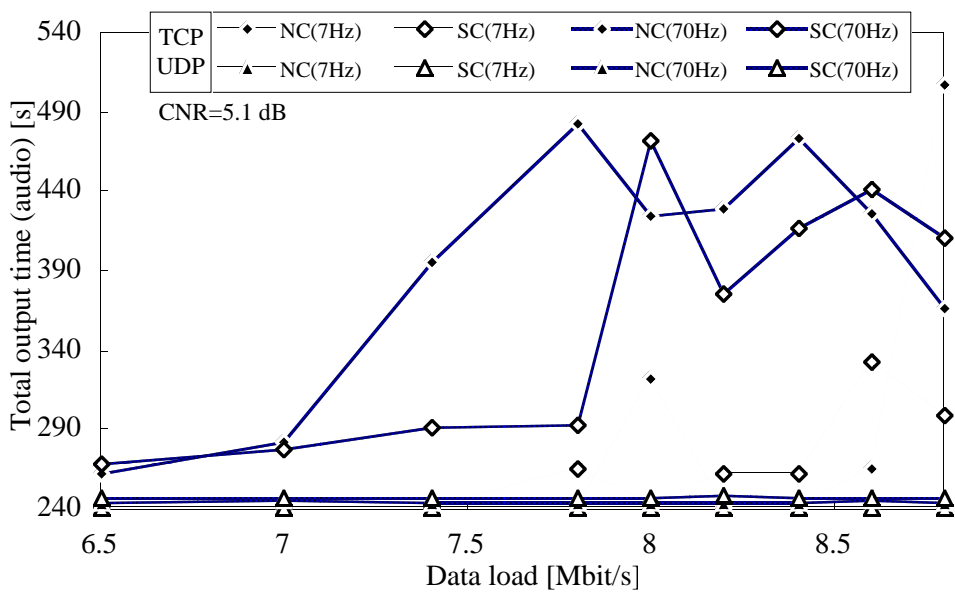


図8.13 音声の総出力時間 (TCP vs UDP)  
**Fig. 8.13** Total output time of audio (TCP vs UDP).



以上より，MUの欠落を回避するためにTCPを適用しても，高負荷状態や無線通信環境が悪い状況では，同期性能が著しく劣化することを確認した．このような通信環境では，適度な再送制御およびフロー制御を持つ機構[Hase97],[Carl97]を適用する必要がある．

## 8.4 むすび

本章では，PHSによるインターネットアクセスにおいて，トランスポートプロトコルにUDPを適用し，蓄積メディアの伝送実験を行った．特に，無線通信環境に加え，インターネットの通信環境の影響をも含め，蓄積メディアの同期性能を総合的に評価した．

その結果，MUの欠落等により，同期性能は劣化するが，スライド制御の適用により，メディア同期性能を改善できることが分かった．また，データ負荷が大きくなるにつれて，ルータでの欠落が増加し，更に，無線通信環境の悪化により，ダイヤルアップルータで欠落が発生することを確認した．特に，無線通信環境が悪い場合には，ルータでの欠落に比べ，ダイヤルアップルータでの欠落のほうが多く，無線通信環境の影響のほうが大きい．

また，この欠落は同期性能に加え，画質および音質も劣化させる．しかし，欠落を回避するための機構としてのTCPの適用は，同期性能を著しく劣化させるため適切でない．従って，適度な再送制御およびフロー制御を持つ機構を用いたシステムについて検討することが今後の課題である．



## 第9章

### 結論

本論文では、PHSによる高品質モバイルマルチメディア通信を実現するために、メディアの時間的構造に着目した。そして、その保持・回復を行うメディア同期制御方式としてスライド制御等を提案し、その有効性を評価した。以下に、主な結果を示す。

第2章では、PHSにおけるビデオ伝送プロトコルとして、ARQによるメディア同期の乱れやスループットの低下をFECにより軽減することを考え、FEC/SR-ARQ方式を提案した。更に、ビデオフレーム廃棄による解像度制御を送信側に適用し、ビデオ伝送における性能をシミュレーションにより評価した。

その結果、FEC/SR-ARQ方式は、SR-ARQ方式に比べて高いスループットを実現できることを確認した。特に、誤りに弱い圧縮ビデオ情報をPHSで伝送するには、誤り訂正能力を超えた誤りスロットを、無線区間において選択的に再送することが非常に効果的である。更に、ビデオフレーム廃棄による解像度制御を適用すれば、ランダム誤り環境だけでなく、歩行時を想定したバースト誤り環境においても、メディア内同期を維持した良好なビデオ伝送が可能であることが分かった。

第3章と第4章では、PHSによる蓄積メディア伝送時のメディア同期性能について検討した。特に、PHSの二つの通信チャネルを使用し、32kbit/sベアラサービスにARQを適用してH.263圧縮ビデオ情報を、通話サービスと同様に無手順でADPCM音声情報を、同時に伝送しながら再生する場合を考えた。

第3章では、ビデオや音声のメディア内同期や両者のメディア間同期を維持するために、Bブロック廃棄制御、出力開始遅延制御、およびスライド制御を提案した。そして、ランダム誤りとバースト誤りの両環境における性能をシミュレーションにより評価した。その結果、つぎの結論を得た。

Bブロック廃棄制御は、平均MU出力レートを低下させるものの、ビデオのメディア内同期の維持に極めて効果的である。また、スライド制御と出力開始遅延制御によるビデオ情報のバッファリングは、ビデオの一時的なメディア内同期の乱れを吸収でき、非常に有効である。なお、出力開始遅延時間 $S_0$ の大きさは、スライド制御を適用すれば、柔軟に設定できる。更に、スライド制御は、音声のメディア内同期を故意に乱すものの、音声とビデオのメディア間同期の維持に極めて効果的である。

第4章では、スライド制御の実行を判断するために、第3章で採用したビデオMU到着時のビデオのメディア内同期ずれ時間に加えて、受信バッファのビデオ情報量 $Q^{(1)}$ を利用するスライド制御を提案した。そして、その性能をランダム誤りとバースト誤りの両環境におけるシミュレーションにより明らかにし、以下の結論を得た。

受信バッファのビデオ情報量によるスライド制御は、蓄積メディアの同期品質の向上に有効である。また、Bブロック廃棄制御も有効ではあるが、その有効性はビデオストリームの性質に依存している。しかしながら、スライド制御の有効性はビデオストリームの性質に依存していない。これはスライド制御の非常に重要な利点である。更に、PHS回線の状態があまり悪くない状態においては、受信バッファのビデオ情報量によるスライド制御のしきい値  $T_{hQ}$  を約 29.2 kbit に設定すべきであることを確認した。

第5章と第6章では、PHSによるライブメディア伝送時のメディア同期性能について検討した。

第5章では、PHSの二つの通信チャネルを使用し、ライブのH.263圧縮ビデオ情報をARQで、ADPCM音声情報を無手順で、リアルタイムに伝送しながら再生する場合を考えた。そして、ライブメディア同期制御方式と蓄積メディア同期制御方式の整合性を実現するために、蓄積メディアに適用したスライド制御を採用し、これにライブメディアの特性を考慮した拡張を行った。すなわち、前方へのスライド制御の追加、後方へのスライド制御の制限等の拡張を行った。更に、送信側において空間的・時間的解像度制御を適用した。そして、ランダム誤りとバースト誤りの両環境において、これらの性能をシミュレーションにより評価し、以下の結論を得た。

拡張したスライド制御は、音声のメディア内同期を故意に乱すものの、ビデオのメディア内同期やメディア間同期の維持に有効である。また、ライブメディアの伝送で重要な評価基準である伝送遅延は、スライド制御の適用により大きくなる。しかしながら、後方へのスライド許容時間を適切に設定すれば、音声の平均MU遅延時間の増加を抑制できる。更に、メディア間同期と音声のMU遅延はトレードオフの関係にあり、後方へのスライド許容時間を使用すれば、どちらを保証するかを調整できる。

また、時間的解像度制御のみにおいて再送による影響を考慮すれば、通信環境の悪化に伴い、MU出力レートは低下するものの、量子化ステップの増加、すなわち画質の劣化を防ぐことができることを確認した。

第6章では、H.223 Annexで規定されたインタリーブ多重化方式をPHSに適用する場合において、スライド制御の適用を考えた。また、メディア同期品質と伝送遅延を制御するために、後方へのスライド許容時間を利用したQOS制御を提案した。そして、ライブメディアを伝送する場合において、これらの方式の有効性を評価し、以下の結論を得た。

スライド制御は、H.223 Annexを適用した場合においても、伝送遅延を犠牲にはするものの、メディア同期の維持に有効である。また、後方へのスライド許容時間を利用したQOS制御は、メディア間同期品質と音声の伝送遅延の制御に有効である。更に、インタリーブ多重化伝送におけるメディア同期品質の特徴をいくつか確認した。すなわち、音声スロットの間隔は音声のMU遅延に大きな影響を及ぼす。また、スライド制御を適用しなければ、音声とビデオのMUサイズの差がメディア間同期を乱す。

第7章と第8章では、通信サービス品質が異なる複数のネットワークを相互に接続した多元的な通信環境におけるスライド制御の有効性を議論した。特に、PHSによるイン

ターネットアクセスにおける蓄積メディア同期性能を評価した。

第7章では、PHSによるインターネットアクセスにおける蓄積メディア同期性能を、無線通信環境における影響に焦点を合わせて議論を行った。特に、モバイル端末とダイアルアップルータ間にPIAFSを、モバイル端末とインターネット上のメディアサーバ間にUDPを適用し、モバイル端末が受信したビデオと音声を同期・出力する実験システムを構築した。更に、メディア同期制御方式として、スライド制御を一部拡張して実装し、スライド制御の性能を実験により評価した。その結果、以下の結論を得た。

スライド制御の適用によりメディア間同期性能が改善できる。また、モバイル端末とダイアルアップルータ間のデータリンクレベルに適用したPIAFSの再送機能は、無線区間における信頼性の高いデータ通信の実現には十分である。しかしながら、PIAFSの再送による遅延の発生が、メディア同期性能に大きな影響を与えていることを確認した。更に、CNRが小さい、若しくは、CNRがある程度大きくてもフェージング周波数が大きい無線通信環境では、ダイアルアップルータの送信待ちバッファでのオーバフローにより、UDPデータグラムが欠落し、画質が乱れてしまうことを確認した。従って、画質を維持するには、フロー制御やトラヒック制御等、欠落を回避、保証する機構が必要である。

第8章では、PHSによるインターネットアクセスにおいて、無線通信環境に加え、インターネットの通信環境の影響をも含め、蓄積メディアの同期性能を総合的に評価した。

その結果、MUの欠落等により、同期性能は劣化するが、スライド制御の適用により、メディア同期性能を改善できることを確認した。また、データ負荷が大きくなるにつれて、インターネット内のルータでの欠落が増加し、更に、無線通信環境の悪化により、ダイアルアップルータで欠落が発生することを確認した。特に、無線通信環境が悪い場合には、インターネット内のルータでの欠落に比べ、ダイアルアップルータでの欠落のほうが多く、無線通信環境の影響のほう大きい。また、この欠落は同期性能に加え、画質および音質も劣化させる。しかし、欠落を回避するための機構としてのTCPの適用は、同期性能を著しく劣化させるため適切ではないことを確認した。

以上述べたように、メディア同期制御方式としてスライド制御を適用すれば、メディアの時間的構造をも維持したPHSによる高品質モバイルマルチメディア通信を実現できる。特に、スライド制御は、パラメータの設定により同一のアルゴリズムで、蓄積メディアだけでなく、ライブメディアの伝送にも対応できる。更に、スライド制御は、ネットワークの利用形態や、適用する下位レイヤのプロトコルが異なる場合においても適用可能であり、しかも、メディア同期品質の向上に極めて有効である。特に、PHSによるインターネットアクセスのような、通信サービス品質が異なる複数のネットワークを相互に接続した多元的な通信環境においても、スライド制御は有効である。また、解像度制御の送信側への適用やFECの適用も、メディア同期性能を改善する上で重要である。

本論文で得られたこれらの結論は、PHSによる高品質モバイルマルチメディア通信を実現する上で極めて重要である。更に、将来、提供が予定されている第3世代移動体通信システム[leice98a]においても、高品質なモバイルマルチメディア通信を実現する上での重要な基礎を与えるものと考えられる。

また、PHSによるモバイルマルチメディア通信環境を実現するには、PHSにより屋外、構内、家庭におけるシームレスなモバイルマルチメディア通信環境を実現することも重要と考える。すなわち、公衆サービスだけでなく、構内における事業所コードレス電話システムや、家庭におけるホームネットワークとしても、PHSを積極的に導入する必要がある。そして、このようなシームレスな通信環境においても、PHSによる高品質モバイルマルチメディア通信が行われるであろう。また、その普及には、コストの低減や小型化も重要である。圧縮符号化部や同期制御部などを一つのシリコンチップ上に構成するシステムLSI化も、その手段の一つである。

今後の課題として、以下のものがあげられる。

移動体通信では、移動局が、接続する基地局を通信中に変更するハンドオーバが発生する。このとき、一時的に通信が中断するために、ARQ適用時においては、メディア同期品質が劣化する。移動体通信の特徴であるハンドオーバがメディア同期性能に及ぼす影響は、今後の重要な課題の一つである。

また、インパルス性雑音がメディア同期性能に及ぼす影響、および、家庭における電子レンジ等からの漏洩電波の影響も、今後の課題である。

第6章では、ライブメディアの伝送において、伝送遅延とメディア同期性能を制御するために、後方へのスライド許容時間を利用したQOS制御を提案した。この値を自動的に設定するために、通信の内容に応じて、この値を適切に選択できる適応的なQOS制御は、今後の課題である。

また、第7章や第8章では、PHSによるインターネットアクセスにおいて、UDP適用時には、無線通信環境の悪化に伴い、ダイアルアップルータで欠落が発生することを確認した。しかし、欠落を回避するための機構としてのTCPの適用は、同期性能を著しく劣化させるため適切ではない。従って、適度な再送制御およびフロー制御を持つ機構を用いたシステムについて検討することが、今後の課題である。

更に、ビデオの圧縮符号化方式として、オブジェクト符号化等の新しい機能を持つMPEG4 [Iso98]を利用した場合において、スライド制御の有効性を確認する必要がある。また、オブジェクト符号化された複数のオブジェクト間において、時間的構造の保持・回復を行うために、オブジェクトレベルでの同期（オブジェクト同期）についても検討が必要である。

また、W-CDMA (Wideband - Code Division Multiple Access)等の第3世代移動体通信システムを利用したモバイルマルチメディア通信システムにおいても、メディア同期制御方式としてスライド制御が適用でき、かつ有効かどうかを調べる必要がある。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、懇切なご指導と励ましを頂いた名古屋工業大学の田坂修二教授に心から感謝し、厚くお礼申し上げます。また、本論文をまとめるにあたり、ご指導と有益なご助言を頂いた名古屋工業大学の池田哲夫教授、早原悦朗教授に厚く感謝いたします。さらに、本研究に対し有益なご助言を頂いた名古屋工業大学の石橋豊助教授に感謝いたします。

また、名古屋工業大学 田坂研究室との共同研究の機会を与えて下さり、本研究の遂行にご理解とご指導をいただきました三洋電機株式会社 ハイパーメディア研究所の鈴木治所長、富田義数部長、宇野誠一室長、および情報通信開発研究所の臼井憲義部長に深く感謝いたします。

最後に、本研究の過程において有益なご助言、ご討論、ご協力を頂いた方々、特に、名古屋工業大学大学院生の河合慶士君、中村耕太郎君に感謝いたします。

# 付録

## 付 .1 変数一覧

本論文で定義した主な変数を以下に示す．なお， $i = 1$  はビデオ， $i = 2$  は音声を示す．

### (1) メディア発生源における MU の変数

- $T_n^{(i)}$ :           メディア  $i$  における  $n$  番目の MU の発生時刻．  
 $x_{n,n+1}^{(i)}$ :       メディア  $i$  における  $n$  番目と  $n + 1$  番目の MU の発生間隔．  
 $x_{n,n+1}^{(i)} = T_{n+1}^{(i)} - T_n^{(i)}$

### (2) メディア出力先における MU の変数

- $A_n^{(i)}$ :           メディア  $i$  における  $n$  番目の MU の到着時刻．  
 $t_n^{(i)}$ :           メディア  $i$  における  $n$  番目の MU の目標出力時刻．  
 $t_1^{(i)} = A_1^{(i)} + S_1^{(i)} \quad (n = 1)$   
 $t_n^{(i)} = x_n^{(i)} + S_{n-1}^{(i)} \quad (n = 2)$   
 $x_n^{(i)}$ :           メディア  $i$  における  $n$  番目の MU において，遅延ジッタがない理想的な場合の目標出力時刻．  
 $x_1^{(i)} = t_1^{(i)} \quad (n = 1)$   
 $x_n^{(i)} = x_{n-1}^{(i)} + S_{n-1,n}^{(i)} \quad (n = 2)$   
 $D_n^{(i)}$ :           メディア  $i$  における  $n$  番目の MU の出力時刻．  
 $D_n^{(i)} = t_n^{(i)} + S_n^{(i)} \quad \text{if } A_n^{(i)} \geq t_n^{(i)} + S_n^{(i)} \quad (n = 1)$   
 $D_n^{(i)} = A_n^{(i)} \quad \text{if } t_n^{(i)} + S_n^{(i)} < A_n^{(i)} \quad (n = 1)$   
 $D_n^{(i)}$ :           メディア  $i$  における  $n$  番目の MU の到着から出力までの出力待ち時間．



(3) スライド制御に関する変数

$S_n^{(i)}$ : メディア  $i$  における  $n$  番目の MU のスライド時間 .  
 $S_n^{(i)}$ : メディア  $i$  における  $n$  番目の MU までの総スライド時間 (但し,  $S_0^{(i)} = 0$  ).  
 $S_n^{(i)} = S_{n-1}^{(i)} + S_n^{(i)}$

a. 後方へのスライド制御

*gradual recovery*

$t_1$ : gradual recovery のスライド時間 ( $t_1 > 0$  ).  
 $T_{h1}$ : gradual recovery の実行に関する  $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$  のしきい値 ( $T_{h1} > 0$  ).  
 $T_{hQ}$ : 受信バッファのビデオ情報量  $Q^{(1)}$  による gradual recovery の実行に関する  $Q^{(1)}$  のしきい値 .  
 $\tau_1$ : gradual recovery の最小許容時間間隔 .

*fast recovery*

$t_2$ : fast recovery のスライド時間 ( $t_2 > t_1 > 0$  ).  
 $T_{h2}$ : fast recovery の実行に関する  $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$  のしきい値 ( $T_{h2} > T_{h1} > 0$  ).  
 $\tau_2$ : fast recovery の最小許容時間間隔 .

b. 前方へのスライド制御

$t_0$ : 前方へのスライド時間 ( $t_0 < 0$  ).  
 $T_{h0}$ : gradual recovery の実行に関する  $-(A_n^{(1)} - t_n^{(1)})$  のしきい値 ( $T_{h0} > 0$  ).  
 $\tau_0$ : 前方へのスライド制御の最小許容時間間隔 .

c. その他

$Q^{(1)}$ : 受信バッファのビデオ情報量 .  
 $\tau$ : 後方へのスライド許容時間 .

(4) 評価変数

$D_n^{(1-2)}$ : メディア 1 の  $n$  番目の MU と, それに対応するメディア 2 の  $m$  番目の MU とのメディア間同期ずれ時間 .  
 $D_n^{(1-2)} = (D_n^{(1)} - D_m^{(2)}) - (T_n^{(1)} - T_m^{(2)})$   
 $D_n^{(i)}$ : メディア  $i$  のメディア内同期ずれ時間 .  
 $D_n^{(i)} = D_n^{(i)} - t_n^{(i)} \quad (n = 1)$   
 $C_v^{(i)}$ : メディア  $i$  における MU の出力間隔の変動係数 . なお,  $N$  は総 MU 数を意味する .  
 $C_v^{(i)} = [ \{ \sum_{n=1}^{N-1} (D_{n+1}^{(i)} - D_n^{(i)} - E^{(i)})^2 \} / (N - 1) ]^{1/2} / E^{(i)}$   
 $E^{(i)} = (D_N^{(i)} - D_1^{(i)}) / (N - 1)$

## 付.2 スライド制御の制御パターン

本論文の各章で使用したスライド制御の制御パターンを以下に示す。なお、各章において、適用した条件を 印、適用しない条件を × 印で示す。

実行条件		スライド時間	条件を適用した章					
			3章	4章	5章	6章	7章	8章
(a)	if $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$ , 注1 $T_{h2} - A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$	then $S_n^{(1)} = S_m^{(2)} = 2$ . <b>(fast recovery)</b>			×	×		
(b)	if $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$ , 注1 $T_{h1} - A_n^{(1)} - t_n^{(1)} < T_{h2}$ , $S_{n-1}^{(1)} + S_n^{(1)}$	then $S_n^{(1)} = S_m^{(2)} = 1$ . <b>(gradual recovery)</b>	注3 =	注3 =			注3 =	注3 =
(c)	if $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$ , 注1 $A_n^{(1)} - t_n^{(1)} < T_{h1}$ , $Q^{(1)} < T_{hQ}$	then $S_n^{(1)} = S_m^{(2)} = 1$ . <b>(gradual recovery)</b>	×		×	×	×	×
(d)	if $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$ , 注1 $A_n^{(1)} - t_n^{(1)} < T_{h1}$ , $Q^{(1)} > T_{hQ}$	then $S_n^{(1)} = S_m^{(2)} = 0$ .	注4 $T_{hQ} = -$		注4 $T_{hQ} = -$	注4 $T_{hQ} = -$	注4 $T_{hQ} = -$	注4 $T_{hQ} = -$
(e)	if $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$ , 注1 $A_n^{(1)} - t_n^{(1)} > T_{h0}$	then $S_n^{(1)} = S_m^{(2)} = 0$ . <b>(forward control)</b>	×	×			×	×
(f)	if $t_m^{(2)} < A_m^{(2)}$	then $S_n^{(1)} = S_m^{(2)}$ $= A_m^{(2)} - t_m^{(2)} + t_m^{(2)}$ .	×	×	×	×		

注1： 第3章～第6章では、音声を手順で伝送する場合を仮定しており、条件(a)～(e)において、常に  $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$  となる。なお、これらの章において、条件  $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$  は記載していない。

注2： 第3章、および第4章では、 $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$  をビデオMU到着時のビデオのメディア内同期ずれ時間  $t_n^{(1)}$  として記述している。

注3： 第3章、第4章、第7章、および第8章は、蓄積メディアを対象としており、 $=$  とする。

注4： 第4章以外では、受信バッファのビデオ情報量  $Q^{(1)}$  によるスライド制御は適用しておらず、 $T_{hQ} = -$  とする。従って、条件(d)において、常に  $Q^{(1)} > T_{hQ}$  となる。

## 参考文献

- [Ande91] D. P. Anderson and G. Homsy, "A continuous media I/O server and its synchronization mechanism," *IEEE Computer*, vol. 24, pp. 51-57, Oct. 1991.
- [Ansi96] ANSI, "Personal Station - Base Station Compatibility Requirements for 1.8 to 2.0 GHz Code Division Multiple Access (CDMA) Personal Communications Systems J-STD-008," 1996.
- [Arib97] 社団法人電波産業会 ARIB, "第二世代コードレス電話システム標準規格 第三版 RCR STD-28," Nov. 1997.
- [Arib98] 社団法人電波産業会 ARIB, "デジタル方式自動車電話システム標準規格 RCR STD-27G," May 1998.
- [Blak96] G. Blakowski, and R. Steinmetz, "A media synchronization survey: Reference model, specification, and case studies," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 14, no. 1, pp. 5-35, Jan. 1996.
- [Carl97] G. Carle and E. W. Biersack, "Survey of error recovery techniques for IP-based audio-visual multicast applications," *IEEE Network*, vol. 11, no. 6, pp. 24-36, Nov./Dec. 1997.
- [Chen96] H. Y. Chen, and J. L. Wu, "MultiSynch: a synchronization model for multimedia system," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 14, no. 1, pp. 238-248, Jan. 1996.
- [Cort95] A. L. Corte, A. Lombardo, S. Palazzo, and G. Schembra, "A feedback approach for jitter and skew enforcement in multimedia retrieval services," *Proc. IEEE GLOBECOM'95*, pp. 790-794, Nov. 1995.
- [Etsi92] European Telecommunications Standards Institute, "European digital cellular telecommunications system (Phase 1); Mobile station - Base station system interface data link layer specifications (I-ETS 300 021)," May 1992.
- [Etsi96] European Telecommunications Standards Institute, "Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common interface (EN 300 175)," Sept. 1996.
- [Fuji94] 藤本宜子, 山口淳, 小林卓也, 浜木貴之, "PHSにおけるデータ通信方式の検討," 信学技報, CS94-77, pp. 23-28, Aug. 1994.
- [Goto94] 後藤勇, 茨木久, 藤本強, "無線通信における誤り制御法に関する一検討," 信学'94秋大, B-326, Sept. 1994.
- [Hase97] T. Hasegawa, T. Hasegawa, T. Kato and K. Suzuki, "Applying reliable data transfer protocol to real time video retrieval system," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E80-B, no. 10, pp. 1482-1492, Oct. 1997.

- [Iba94] 茨木久, 中野慎夫, “携帯形映像通信サービスと技術課題,” 信学'94春大, SB-4-1, pp. 431-432, March 1994.
- [Ieice95] パーソナル移動通信小特集, 信学誌, vol. 78, no. 2, pp. 122-178, Feb. 1995.
- [Ieice98a] “Special issue on third generation land mobile communication systems,” *IEICE Trans. Commun.*, vol. E81-B, no. 7, pp. 1297-1329, July 1998.
- [Ieice98b] “Special issue on multimedia communications in heterogeneous network environments,” *IEICE Trans. Commun.*, vol. E81-B, no. 8, pp. 1563-1665, Aug. 1998.
- [Ishi95a] Y. Ishibashi and S. Tasaka, “A synchronization mechanism for continuous media in multimedia communications,” *Proc. IEEE INFOCOM '95*, pp. 1010-1019, April 1995.
- [Ishi95b] Y. Ishibashi, S. Tasaka, and E. Minami, “Performance measurement of a stored media synchronization mechanism: quick recovery scheme,” *Proc. IEEE GLOBECOM'95*, pp. 811-817, Nov. 1995.
- [Ishi96a] Y. Ishibashi, E. Minami, and S. Tasaka, “Performance measurement of a stored media synchronization mechanism: graceful recovery scheme,” *IEICE Trans. Commun.*, vol. E79-B, no. 3, pp. 399-411, March 1996.
- [Ishi96b] Y. Ishibashi, S. Tasaka, and A. Tsuji, “Measured performance of live media synchronization mechanism in an ATM network,” *Conf. Rec. IEEE ICC '96*, pp. 1348-1354, June 1996.
- [Ishi97a] Y. Ishibashi, S. Tasaka, and T. Okuoka, “A media synchronization mechanism for MPEG video and its measured performance,” *Proc. International Conference on Computer Communication*, pp. 163-170, Nov. 1997.
- [Ishi97b] Y. Ishibashi, and S. Tasaka, “A group synchronization mechanism for live media in multicast communications,” *Conf. Rec. IEEE GLOBECOM'97*, pp. 746-752, Nov. 1997.
- [Ishi97c] Y. Ishibashi, A. Tsuji, and S. Tasaka, “A group synchronization mechanism for stored media in multicast communications,” *Proc. IEEE INFOCOM'97*, pp. 693-701, April 1997.
- [Iso98] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N2323, “Overview of the MPEG-4 standard,” July 1998.
- [Ito91] 伊藤正悟, 沢井浩一, 上村真司, 松本正, “WORM-ARQ を用いたデジタル移動通信用 G3 ファクシミリ伝送,” 信学技報, RCS91-16, June 1991.
- [Ito97] 伊藤泰彦, “間近に迫る衛星携帯電話サービス,” 信学誌, vol. 80, no. 12, pp. 1247-1250, Dec. 1997.
- [Itu90] ITU-T Recommendation G.726, “40, 32, 24, 16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM),” Dec. 1990.
- [Itu93] ITU-T Recommendation H.261, “Video codec for audiovisual services at  $p \times 64$  kbit/s,” March 1993.
- [Itu95] ITU-T SG-15 experts group on very low rate visual telephony, “Video codec test model, TMN5,” Jan. 1995.

- [Itu96a] ITU-T Recommendation H.263, "Video coding for low bit rate communication," March 1996.
- [Itu96b] ITU-T Recommendation G.723.1, "Dual rate speech coder for multimedia communication transmitting at 5.3 & 6.3 kbit/s," March 1996.
- [Itu96c] ITU-T Recommendation H.323, "Visual telephone systems and equipment for local area networks which provide a non-guaranteed quality of service," Nov. 1996.
- [Itu96d] ITU-T Recommendation H.225.0, "Media stream packetization and synchronization for visual telephone systems on non-guaranteed quality of service LANs," Nov. 1996.
- [Itu97] ITU-T Recommendation H.320, "Narrow-band visual telephone systems and terminal equipment," July 1997.
- [Itu98a] ITU-T Recommendation H.223/Annex A, "Multiplexing protocol for low bitrate mobile multimedia communication over low error-prone channels," Feb. 1998.
- [Itu98b] ITU-T Recommendation H.223/Annex B, "Multiplexing protocol for low bitrate mobile multimedia communication over moderate error-prone channels," Feb. 1998.
- [Itu98c] ITU-T Recommendation H.223/Annex C, "Multiplexing protocol for low bitrate mobile multimedia communication over highly error-prone channels," Feb. 1998.
- [Kato96a] 加藤正美, 臼井憲義, 田坂修二, "PHSにおけるビデオ伝送方式の性能評価," 信学論(B-II), vol. J79-B-II, no.10, pp. 646-656, Oct. 1996.
- [Kato96b] 加藤正美, 臼井憲義, 田坂修二, "PHSにおける蓄積ビデオ伝送方式の性能評価," 信学'96秋大, B-354, Sept. 1996.
- [Kato97a] 加藤正美, 臼井憲義, 田坂修二, "PHSによる蓄積メディア伝送時のメディア同期性能評価," 信学論(B-II), vol. J80-B-II, no.9, pp. 749-759, Sept. 1997.
- [Kato97b] 加藤正美, 臼井憲義, 田坂修二, "PHSによる蓄積メディア伝送時のメディア同期性能評価," 信学技報, RCS96-145, Jan. 1997.
- [Kato97c] M. Kato, N. Usui, and S. Tasaka, "Stored media synchronization based on buffer occupancy in PHS," *Proc. IEEE PIMRC'97*, pp. 1049-1053, Sept. 1997.
- [Kato97d] 加藤正美, 臼井憲義, 田坂修二, "PHSによる蓄積メディア伝送時のメディア間同期制御方式の改良," 信学'97春大, B-5-266, March 1997.
- [Kato97e] 加藤正美, 臼井憲義, 田坂修二, "PHSによるライブメディア伝送時のメディア同期性能評価," 信学技報, CQ97-62, Dec. 1997.
- [Kato98a] M. Kato, N. Usui, and S. Tasaka, "Media synchronization control based on buffer occupancy for stored media transmission in PHS," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E81-A, no.7, pp. 1378-1386, July 1998.
- [Kato98b] 加藤正美, 臼井憲義, 田坂修二, "PHSによるライブメディア伝送時のメディア同期性能評価," 信学論(B-II), vol. J80-B-II, no.8, pp. 762-772, Aug. 1998.
- [Kato98c] M. Kato, Y. Kawai, and S. Tasaka, "Performance evaluation of media synchronization in PHS with the H.223 Annex multiplexing protocol," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E81-B, no. 12, pp. 2423-2431, Dec. 1998.

- [Kato98d] M. Kato, Y. Kawai, and S. Tasaka, "Performance evaluation of media synchronization in PHS with the H.223 Annex multiplexing protocol," *Proc. IEEE ICUPC '98*, pp. 183-190, Oct. 1998.
- [Kato98e] 加藤正美, 河合慶士, 田坂修二, "Performance evaluation of media synchronization in PHS with the H.223 Annex A multiplexing protocol," *信学技報*, CS97-168, Jan. 1998.
- [Kato98f] 加藤正美, 中村耕太郎, 田坂修二, "PHS 回線における蓄積メディア同期実験," *信学論(B-I)*, vol. J81-B-I, no. 11, pp. 709-719, Nov. 1998.
- [Kato98g] 加藤正美, 中村耕太郎, 田坂修二, "PHS 回線における蓄積メディア同期実験," *信学技報*, IN97-210, March 1998.
- [Kato98h] 加藤正美, 中村耕太郎, 田坂修二, "PHS インターネットアクセス時の蓄積メディア同期性能評価実験," *信学技報*, SSE98-99, Sept. 1998.
- [Kawa97] 河合慶士, 加藤正美, 田坂修二, "PHS における H.223 Annex A 多重化プロトコルへのメディア同期制御の適用," *信学技報*, CQ97-63, Dec. 1997.
- [Kon97] Y. Kondo, and T. Tanaka, "Video transmission performance with adaptive time diversity over PHS channels," *Proc. IEEE PIMRC '97*, pp. 1054-1058, Sept. 1997.
- [Kou96] I. Kouvelas, V. Hardman, and A. Watson, "Lip synchronization for use over the Internet: analysis and implementation," *Conf. Rec. GLOBECOM'96*, pp. 893-898, Nov. 1996.
- [Kuro95] A. Kurobe, "Cordless videophone applications and technologies," *Technical Forum paper in Telecom'95*, pp. 367-371, Oct. 1995.
- [Luck68] R.W. Lucky, J. Salz, and E.J. Weldon, "Principles of data communication," McGraw-Hill, Inc., 1968.
- [Mato96] 的場直人, 近藤靖, 山階正樹, "ARQ を用いた無線動画像通信の伝送遅延の改善法の検討," *信学技報*, RCS96-80, pp. 95-101, Aug. 1996.
- [Naka97] 中西博幸, 田坂修二, 石橋豊, "無線 LAN における MPEG ビデオ・音声のメディア同期実験," *信学論*, J80-B-I, vol. 11, pp. 886-895, Nov. 1997.
- [Nikke98a] 日経コミュニケーション, "2002 年に超高速移動通信を実現," 98/4/6 号, pp. 80-81, April 1998.
- [Nikke98b] 日経コミュニケーション, "検証テクノロジー; PIAFS: 移動通信最速の32kビット/秒, 99年に64kビット/秒へ高速化," 98/8/17号, pp. 116-123, Aug. 1998.
- [Onu96] M. Onuki, K. Kobayashi, A. Murase, and S. Mirata, "Mobile packet data communication in a TDMA cellular system," *Proc. IEEE ICUPC'96*, pp. 577-581, Sept. 1996.
- [Piaf97] PHSインターネット・アクセス・フォーラム, "PHS Internet Access Forum Standard (PIAFS)仕様書," March 1997.
- [Piaf98] PHSインターネット・アクセス・フォーラム, "PIAFSリアルタイムプロトコル仕様書技術資料," June 1998.
- [Rfc92] RFC1332, "The PPP Internet Protocol Control Protocol (IPCP)," May 1992.
- [Rfc94] RFC1661, "The Point-to-Point Protocol (PPP)," July 1994.

- [Sato94] 佐藤裕明, 青木孝泰, 舘石亨, 野村勝巳, 林克彦, “デジタル無線通信におけるデータ誤り制御の一検討,” 信学'94 春大, B-373, March 1994.
- [Stein96] R. Steinmetz, “Human perception of jitter and media synchronization,” *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 14, no. 1, pp. 61-72, Jan. 1996.
- [Suzu98] 鈴木龍太郎, 桜井啓市, 石川伸一, 安田靖彦, “次世代LEOシステムによるマルチメディア移動体衛星通信システムの検討,” 信学'98 ソ大, SB-3-1, Sept. 1998.
- [Tasa96a] S. Tasaka, and H. Imura, “Dynamic resolution control of stored video traffic in a wireless LAN,” *Proc. IEEE PIMRC'96*, pp. 153-157, Oct. 1996.
- [Tasa96b] S. Tasaka, Y. Ishibashi, and H. Imura, “Stored media synchronization in wireless LANs,” *Conf. Rec. IEEE GLOBECOM '96*, pp. 1904-1910, Nov. 1996.
- [Tasa97a] S. Tasaka, H. Nakanishi, and Y. Ishibashi, “Dynamic resolution control and media synchronization of MPEG in wireless LANs,” *Conf. Rec. IEEE GLOBECOM '97*, pp.138-144, Nov. 1997.
- [Tasa97b] S. Tasaka , and Y. Ishibashi, “Stored media synchronization scheme in ATM and wireless networks: a performance comparison,” *Proc. IEEE ICUPC '97*, pp. 766-772, Oct. 1997.
- [Tasa98a] S. Tasaka ,and Y. Ishibashi, “Single-stream versus multi-stream for live media synchronization,” *Conf. Rec. ICC'98*, pp. 470-476, June 1998.
- [Tasa98b] S. Tasaka , and Y. Ishibashi, “Media synchronization in heterogeneous networks: stored media case,” *IEICE Trans. Commun.*, vol. E81-B, no. 8, pp. 1624-1636, Aug. 1998.
- [Tasa98c] S. Tasaka, M. Kato, and K. Nakamura, “Stored media synchronization in PHS internet access,” *Conf. Rec. GLOBECOM'98*, pp. 113-119, Nov. 1998.
- [Tele96a] Source program code of “TMN H.263 encoder ver.1.6c & decoder ver.1.6c,” Telenor R&D, March 1996.
- [Tele96b] Source program code of “TMN H.263 encoder ver.2.0 & decoder ver.2.0,” Telenor R&D, June 1996.
- [Toshi97] 東芝, “PHS 用誤り訂正制御 LSI TC35612CF 技術資料 Ver.1.3,” June 1998.
- [Tree97] S. Treetasanatavorn, T. Yoshida, and Y. Sakai, “Media synchronization by delay compensation method using kalman filtering,” *Proc. IEEE GLOBECOM'97*, pp. 679-683, Nov. 1997.
- [Tsu97] 辻亮宏, 石橋豊, 田坂修二, “マルチキャスト通信におけるライブメディアに対する端末間同期方式,” 信学技報, IN96-130, Feb. 1997.
- [Yama95] 山本竜治, 丹田剛, 中村能章, “TDMA/TDD 2 スロット使用時における誤り再送制御法の検討,” 信学'95 春大, B-498, March 1995.
- [Yoshi96] 吉田博, 加山英俊, 山本浩之, 市川武男, “PHS 無線パケット通信の構成と制御方式,” *NTT R&D*, vol. 45, no. 11, pp. 1099-1108, Nov. 1996.

