

デジタル信号処理ライブラリー 8

情報通信と デジタル信号処理

工学博士 谷 萩 隆 嗣 編著

コ ロ ナ 社

編 者

谷 萩 隆 嗣 (千葉大学・工博)

共 著 者

谷 萩 隆 嗣 (千葉大学・工博)	1 章, 2 章, 3 章, 6.3 節, 6.7 節
河 野 隆 二 (横浜国立大学・工博)	4 章
岩 崎 一 彦 (東京都立大学・工博)	5 章
永 田 善 紀 (日本電気(株))	6.1 節
赤 岩 芳 彦 (九州大学・工博)	6.2 節, 6.5 節
孫 偉 民 (モトローラ(株)・工博)*	6.3 節, 6.7 節
小 園 茂 (千葉工業大学・工博)	6.4 節, 7.2 節
古 谷 之 綱 (日本電気(株))	6.6 節
中 嶋 信 生 (NTT 移動通信網(株)・工博)	7.1 節, 7.4 節, 7.6 節
石 崎 長 俊 (NTT 移動通信網(株))	7.3 節
服 部 武 (上智大学・工博)	7.5 節

(所属は 1998 年 11 月現在。*印：執筆時日本電気(株)勤務)

刊行のことば

最近のデジタル技術は驚異的な発展を続けており、従来はアナログ処理が行われていたもの、あるいはデジタル処理が不可能であったものでも、つぎつぎとデジタル処理されるようになってきた。それに伴い、多くの分野で、いっそう高度なデジタル技術の確立が求められてきている。

先般行われた、電気/電子/情報/通信分野における大規模なアンケート調査によれば、多くの企業および研究機関が「デジタル信号処理」を非常に重要視し、「必要性」ならびに「重要性」の項目でトップに挙げている。このことから、「デジタル信号処理」は、現在、社会的ニーズが最も高い学問分野の一つであると考えられる。

このような状況にかんがみ、「デジタル信号処理」を広範な立場からできるだけ統一的にまとめて、この分野に興味を持っている多くの方々に役立てて頂くことを目的として、「デジタル信号処理ライブラリー」を刊行する。

本ライブラリーは、以下の各巻で構成されている。

- 第1巻：デジタル信号処理と基礎理論
- 第2巻：デジタルフィルタと信号処理
- 第3巻：音声と画像のデジタル信号処理
- 第4巻：高速アルゴリズムと並列信号処理
- 第5巻：カルマンフィルタと適応信号処理
- 第6巻：ARMA システムとデジタル信号処理
- 第7巻：VLSI とデジタル信号処理
- 第8巻：情報通信とデジタル信号処理
- 第9巻：ニューラルネットワークとファジィ信号処理
- 第10巻：マルチメディアとデジタル信号処理

ii 刊行のことば

これらの各巻のうち、第1巻から第3巻までは、大学の学部3、4年生でも十分理解できるような内容の「基礎編」である。また、第4巻から第6巻までは、内容を少しグレードアップした「発展編」であり、大学院修士課程の学生程度の学力を持つ者をおもな対象とする。さらに、第7巻から第10巻までは、大学や企業の研究者を始めとする、広範な社会人をおもな対象とした「応用編」であり、ある程度の基礎知識があれば、十分読みこなせる内容となっている。

したがって、本ライブラリーについては、読者の興味およびレベルに応じて多様な読み方が可能である。例えば、まったくの初歩からデジタル信号処理を学びたい場合には、「基礎編」から読み始めることが望ましい。一方、ある程度の基礎知識があれば、いきなり「発展編」あるいは「応用編」を読んでも、十分に読みこなすことができる。また、「基礎編」から読み始める場合でも、「基礎編」、「発展編」、「応用編」の順に読み進めるだけでなく、「基礎編」、「応用編」、「発展編」の順とすることも可能であるので、読者の興味に応じて読み進めて頂きたい。

幸い、本ライブラリーについては、各方面の第一線で活躍中の多くの方々に執筆して頂くことができたので、読者の期待にこたえられる内容になっていると確信している。

「デジタル信号処理」の分野は、理論および応用技術ともに急速な勢いで発展を続けているので、今後は、状況に応じて「デジタル信号処理ライブラリー」に新しい分野を追加し、本ライブラリーを、内容的にもさらに充実したものにしてゆくことを予定している。

最後に、本ライブラリーの刊行にあたって多大の御尽力を頂いた、コロナ社の方々に深く感謝の意を表する。

1996年1月

企画・編集責任者 谷萩 隆嗣

まえがき

最近の情報通信技術は目覚ましい発展を示しているが、これは種々のデジタル技術の飛躍的な進歩に負うところが大きい。特に、移動通信に象徴される無線通信技術は、今後の高度情報システムで非常に重要な位置を占めている。本書では、デジタル信号処理技術の観点から、最初に情報通信の概要を紹介し、つぎに移動通信に関連した情報通信技術について詳しく説明する。

第1章では、情報通信の分野でも、デジタル信号処理の重要性がますます増大していることを考慮して、情報通信システムと信号処理の概要を述べる。通信方式を大別すれば、アナログ通信とデジタル通信に分けることができるが、マルチメディアに象徴されるように、情報通信におけるデジタル技術の役割は拡大の一途をたどっている。

第2章では、デジタル通信の最も基本的な伝送方式である、ベースバンド伝送について述べる。最初に、ベースバンド伝送とパルス信号波形、符号間干渉とアイダイアグラムについて説明し、パーシャルレスポンス方式を紹介する。つぎに、ベースバンド伝送と等化器の役割や種類、構成などについて述べる。

第3章では、デジタル変調による伝送方式を述べる。デジタル通信システムにおいて、ベースバンド伝送が困難な場合や変調して伝送する方が効率的な場合には、種々の変調方式を利用して信号を伝送することになる。搬送波をデジタル信号で変調して伝送すれば、ベースバンド伝送に比べて狭い帯域での伝送が可能となる。

第4章では、移動通信などの分野で近年大きな注目を集めているスペクトル拡散通信について詳しく説明する。最初に、スペクトル拡散通信方式の概要と原理を述べる。特に、スペクトル拡散通信における拡散変調方式について詳細に紹介する。また、スペクトル拡散通信のための拡散符号や変復調技術、同期

捕捉・保持技術，耐干渉・妨害技術，スペクトル拡散通信用 ASIC などの諸技術を説明し，スペクトル拡散通信の今後の展望を示す。

第5章では，信号の誤り訂正符号と誤り制御について述べる。最初に，伝送誤りの種類および誤り訂正符号の種類について紹介し，つぎにブロック符号によるランダム誤りおよびバースト誤りの訂正方法を示す。また，畳込み符号を導入して，ランダム誤りおよびバースト誤りを訂正する方法を述べ，PRML (partial response maximum likelihood) とビタビ (Viterbi) 復号法を紹介する。

第6章では，移動通信と信号処理について述べる。移動通信で生じる大きな問題にフェージングとマルチパスによる干渉がある。最初に，これらについて述べ，つぎに移動通信のためのデジタル変調方式と復調方式について詳細な説明を行う。さらに，移動通信で利用される無線アクセス方式とダイバーシチ通信方式を述べ，データ伝送システムについて説明する。最後に，デジタル通信で重要な役割を果たす DSP (digital signal processor) の現状を紹介する。

第7章では，現在利用されている移動通信システムを種々の観点から詳しく紹介する。最初に，移動通信の現状と展望を述べ，つぎにセルラー方式とネットワーク，無線回線制御について説明する。さらに，デジタルコードレス電話および携帯・自動車電話の説明を行う。

以上，本書では，デジタル信号処理に視点を置いて，情報通信全般について紹介する。特に，本書の後半では移動通信について詳細に解説する。現在，情報通信技術は急速な進歩を続けているが，コンピュータネットワークを利用した情報通信については，第10巻「マルチメディアとデジタル信号処理」で詳しく述べているので，本書と併せて利用して頂ければ幸いである。

最後に，本書の構成についてご協力を頂いた，横浜国立大学教授の河野隆二博士，および第6章と第7章の構成について全面的なご支援を頂いた，NTT 移動通信網(株)の中嶋信生博士に深く感謝の意を表する。

1998年11月

編著者 谷萩 隆嗣

目 次

1. 情報通信システムと信号処理の概要

1.1 アナログ通信とデジタル通信	1
1.2 デジタル通信システムと信号処理	4
1.2.1 デジタル通信と伝送方式	4
1.2.2 信号の標本化と標本化雑音	6
1.2.3 信号の量子化と量子化雑音	7
1.2.4 信号の適応量子化	10
1.2.5 符号化と復号	12
1.2.6 信号の多重化方式	15
1.2.7 信号の多元接続方式	17
1.3 PCM 通信システムと信号処理	18
1.3.1 PCM 通信方式の原理	18
1.3.2 再生中継器	19
1.3.3 PCM データ通信	20
1.3.4 ADPCM 方式	21

2. ベースバンドデジタル伝送方式

2.1 ベースバンド伝送とパルス信号波形	23
2.1.1 ユニポーラ方式とポーラ方式	23
2.1.2 バイポーラ方式とマンチェスタ方式	24
2.1.3 RZ 方式と NRZ 方式	26

2.1.4 多値符号方式	26
2.2 符号間干渉とアイダイヤグラム	27
2.2.1 伝送路のひずみ	27
2.2.2 符号間干渉	29
2.2.3 アイダイヤグラム	29
2.2.4 ナイキスト基準	30
2.3 パーシャルレスポンス方式	34
2.3.1 パーシャルレスポンス方式の概念	34
2.3.2 フィルタによる誤り補償	35
2.4 ベースバンド伝送システムと等化器	37
2.4.1 等化器の役割	37
2.4.2 等化器の種類	38
2.4.3 等化器の構成	39
2.4.4 等化器の利用	42

3. デジタル変調による伝送方式

3.1 デジタル振幅変調方式	44
3.1.1 振幅変調方式	44
3.1.2 DSB 方式	46
3.1.3 VSB 方式	48
3.1.4 QAM 方式	49
3.2 デジタル角度変調方式	51
3.2.1 角度変調方式	51
3.2.2 FSK 方式	52
3.2.3 PSK 方式	54

4. スペクトル拡散通信

4.1	スペクトル拡散通信方式の概要	56
4.2	スペクトル拡散通信方式の原理	57
4.2.1	スペクトル拡散通信方式の概念	58
4.2.2	拡散変調方式	59
4.2.3	スペクトル拡散通信方式の基本パラメータ	66
4.3	スペクトル拡散通信方式の特徴	67
4.3.1	スペクトル拡散通信方式の利点	67
4.3.2	スペクトル拡散通信方式の問題点と対策	73
4.4	拡散符号	76
4.5	変復調技術	79
4.6	同期捕捉・保持技術	81
4.7	耐干渉・妨害技術	85
4.8	スペクトル拡散通信用 ASIC	87
4.9	スペクトル拡散通信の今後の展望	88

5. 信号の誤り訂正符号と誤り制御

5.1	伝送誤りの種類	90
5.2	誤り訂正符号の種類	91
5.3	ブロック符号によるランダム誤りの訂正	93
5.3.1	最小距離と誤り検出・訂正	93
5.3.2	線形符号	94
5.3.3	巡回符号	96
5.3.4	BCH 符号	99
5.3.5	リード・ソロモン符号	101

5.4	ブロック符号によるバースト誤りの訂正	104
5.4.1	ファイヤ符号	104
5.4.2	ファイヤ符号の高速復号法	106
5.5	畳込み符号によるランダム誤りの訂正	107
5.5.1	ワイナー・アッシュ符号	107
5.5.2	多数決論理復号可能な畳込み符号	110
5.6	畳込み符号によるバースト誤りの訂正	114
5.7	PRML とビタビ復号法	115
5.7.1	PRML	115
5.7.2	ビタビ復号法	117

6. 移動通信と信号処理

6.1	フェージングと干渉	120
6.1.1	レイリーフェージング	120
6.1.2	マルチパスフェージング	125
6.1.3	干 渉	127
6.1.4	フェージングと干渉への対策	128
6.1.5	等 化 器	129
6.2	移動通信用デジタル変調方式	130
6.2.1	定振幅変調方式	131
6.2.2	線形デジタル変調方式	136
6.2.3	符号化変調方式	138
6.3	移動通信用デジタル復調方式	141
6.3.1	振幅変調信号の復調方式	141
6.3.2	周波数変調信号の復調方式	151
6.4	無線アクセス方式	159
6.4.1	FDMA 方式	160
6.4.2	TDMA 方式	161

6.4.3	CDMA 方式	165
6.4.4	パケット方式	171
6.5	ダイバーシチ通信方式	175
6.5.1	ダイバーシチ通信の概念	175
6.5.2	ダイバーシチ通信方式	176
6.6	データ伝送システムと信号処理	181
6.6.1	データ伝送システムの概要	181
6.6.2	データ伝送のための信号処理	186
6.7	デジタル通信と DSP	191
6.7.1	DSP の 概 要	191
6.7.2	DSP の 利 用	193
6.7.3	移動通信分野への DSP の応用	198

7. 移動通信システム

7.1	移動通信の概要	200
7.1.1	移動通信の種類	200
7.1.2	移動通信の周波数帯	203
7.1.3	移動通信の展望	206
7.2	セルラー方式	209
7.2.1	セルラーシステム	209
7.2.2	セル構成法	210
7.2.3	周波数利用効率	212
7.2.4	適用形態	214
7.3	ネットワーク	215
7.3.1	論理構成	215
7.3.2	交換接続	217
7.3.3	インテリジェント化	222
7.4	無線回線制御	226

7.4.1	チャンネル構成	226
7.4.2	位置登録	229
7.4.3	待ち受けおよび発着呼制御	231
7.4.4	ハンドオーバー	232
7.5	デジタルコードレス電話	234
7.5.1	デジタルコードレス電話の動向	234
7.5.2	デジタルコードレス電話の比較	236
7.5.3	デジタルコードレス電話の方式構成	237
7.5.4	デジタルコードレス電話の無線方式	240
7.5.5	デジタルコードレス電話の制御方式	245
7.5.6	デジタルコードレス電話におけるデータ伝送	257
7.6	デジタル携帯・自動車電話	267
7.6.1	基本仕様	268
7.6.2	ネットワーク構成	271
7.6.3	適用技術	272
7.6.4	装置構成	278
7.6.5	提供サービスと将来動向	279
引用・参考文献		282
索引		291

1. 情報通信システムと 信号処理の概要

デジタル技術の飛躍的な進歩によって、情報通信の分野でも、デジタル信号処理の重要性がますます増大している。通信方式を大別すれば、アナログ通信とデジタル通信に分けることができるが、マルチメディアに象徴されるように、情報通信におけるデジタル技術の役割は拡大の一途をたどっている。また、通信の種類を通信路によって分類すれば、有線通信と無線通信に分けることができるが、いずれもわれわれにとって非常に重要なものである。本章では、種々の情報通信システムと信号処理の概要を述べる。

1.1 アナログ通信とデジタル通信

通信システムの簡便化されたモデルは、図 1.1 のようなブロック線図で表すことができる。



図 1.1 通信システムのモデル

図 1.1 の**情報源** (information source) は伝達する情報の発生源を表しており、情報源からなんらかの**通報** (message) が出されることになる。この通報は、**送信機** (transmitter) によって、伝送しやすい形で**通信路** (channel) へと送り出される。送信機から送り出された信号は、通信路を通過して**受信機** (receiver)

2 1. 情報通信システムと信号処理の概要

で受信され、送信機と逆の変換を行って受信者へ伝達されることになる。しかし、送信機から送り出された送信信号は、一般に通信路で生じるひずみとなんらかの雑音^{(1)~(9)†1}が加わった形で受信機によって受信される^{(1)~(9)†1}。

通信路で生じるひずみの代表例として、前後の信号からの影響が原因で起こる**符号間干渉** (intersymbol interference)^{†2}がある。符号間干渉がある場合には、受信信号をそのまま逆変換しても、送信信号を復元することはできない。例えば、電話機では電気信号に変換された音声信号が通信路を通して伝送されるが、通信路の符号間干渉が無視できないときには、受信機で得られた受信信号をそのまま復元しても良質な音声信号を得ることはできない。そこで、送信信号を復元するために、通常は受信側に**等化器** (equalizer)^{†3}と呼ばれる一種の復元フィルタを挿入することになる。

無線通信では、建物などで電波が反射することによって生じる**マルチパス** (multipath) 問題や、電波が非線形ひずみを受けることによって生じる**フェーディング** (fading) 問題などがある^{(10),(11)}。これらは、いずれも移動通信などの無線通信では非常に大きな問題となっている。

図 1.1 の通信システムで、送信信号から受信信号までのすべての信号が**アナログ信号** (analog signal) の場合には、**アナログ通信システム** (analog communication system) である。一方、**デジタル信号** (digital signal) に変換された信号が通信路を通して伝送され、受信側でもデジタル信号が受信される場合には**デジタル通信システム** (digital communication system) となる。

デジタル通信システムの信号処理過程を図 1.2 に示す。

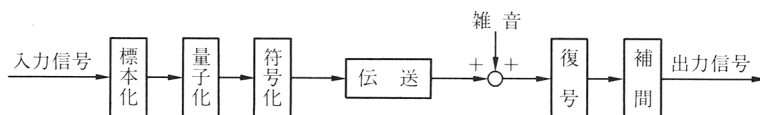


図 1.2 デジタル通信システムの信号処理過程

†1 肩付き数字は、巻末の引用・参考文献の番号を表す。

†2 2.2 節を参照。

†3 2.4 節を参照。

図 1.2 では、**標本化** (sampling) および**量子化** (quantization) によってデジタル信号に変換された入力信号 (アナログ信号) が、**符号器** (encoder) によって**符号化** (coding) されて通信路を通して伝送されることを表している。また、**復号器** (decoder) によって**復号** (decoding) されたデジタル信号を、アナログ信号に変換したものが出力信号として得られている。アナログ信号からデジタル信号への変換には **A-D 変換器** (analog-to-digital converter) が使用され、標本化および量子化が行われる。一方、デジタル信号からアナログ信号への変換には **D-A 変換器** (digital-to-analog converter) が使用される。通常は滑らかなアナログ信号を得るために、D-A 変換器の後にさらに低域フィルタ (低域通過フィルタ) を接続している⁽¹²⁾。図 1.2 の補間は、D-A 変換によるデジタル信号のホールドおよび信号の平滑化を表している。

図 1.2 は、入力信号と出力信号がいずれもアナログ信号である場合の信号処理過程を表しているが、入力信号と出力信号がデジタル信号である場合には、A-D 変換器や D-A 変換器は不要となる。

アナログ通信とデジタル通信を比較すると、つぎのような点でデジタル通信の方が優れている。

- ① 信号をデジタル化することにより、音声や静止画像、動画像、その他の各種データを統一的に扱うことが可能となる。
- ② 通信路の雑音やひずみの影響を受けにくいので、誤り率が低く信頼性の高い通信が可能となる。
- ③ 信号の多重化の点で有利であり、効率の良い通信が可能となる。
- ④ DSP (digital signal processor) を始めとする種々のデジタル技術の成果が利用できるため、柔軟性のあるシステムの構築が可能となる。
- ⑤ デジタル信号に種々の操作を施すことにより、通信の秘密保持が可能となる。

一方、通信用の各種装置のコストを考えると、従来のアナログ通信を利用する方が有利な点も少なくない。しかし、デジタル装置の多機能化、低価格化、小形化の傾向とデジタル信号処理技術の進歩、マルチメディアの発展を目指

4 1. 情報通信システムと信号処理の概要

している社会の趨勢^{すう}から、今後ますますデジタル通信の重要性が高まってくると考えられる。

1.2 デジタル通信システムと信号処理

1.2.1 デジタル通信と伝送方式

デジタル通信における伝送方式は、**ベースバンド伝送** (baseband transmission) と **搬送帯域伝送** (carrier transmission) に分けることができる。ベースバンド伝送では、パルス列で表されているデジタル信号をそのまま伝送するので、低周波成分がかなり大きくなるだけでなく、信号を伝送するために広い周波数帯域が必要とされる^{†1}。したがって、ベースバンド伝送は平衡ケーブルや同軸ケーブル、光ファイバなどを利用し、中継器を導入して短距離間の通信を行うのに適している。ただし、低周波成分の大きな信号をアンテナを通して放射するためには、非常に大きなアンテナが必要となってしまう非現実的であるので、ベースバンド信号を無線通信で伝送することはできない。

一方、搬送帯域伝送では、**搬送波** (carrier) をデジタル信号で変調して伝送するので、狭い帯域での伝送が可能となる^{†2}。したがって、無線通信のようにベースバンド伝送が困難な場合、あるいは信号を変調して伝送した方が効率的な場合には、適当な周波数の正弦波を搬送波に選んで、通信回線が持つ周波数帯域内の信号に変換して、伝送することになる。

アナログ変調方式の搬送波をパルス列で置き換えたときには、**パルス振幅変調** (PAM : pulse amplitude modulation)、**パルス幅変調** (PWM : pulse width modulation)、**パルス数変調** (PNM : pulse number modulation)、**パルス位置変調** (PPM : pulse position modulation)、**パルス周波数変調** (PFM : pulse frequency modulation) の各方式がある。また、パルス振幅変調の振幅を量子化し、これを2進符号化したものは、**パルス符号変調** (PCM : pulse code mod-

†1 第2章を参照。

†2 第3章を参照。

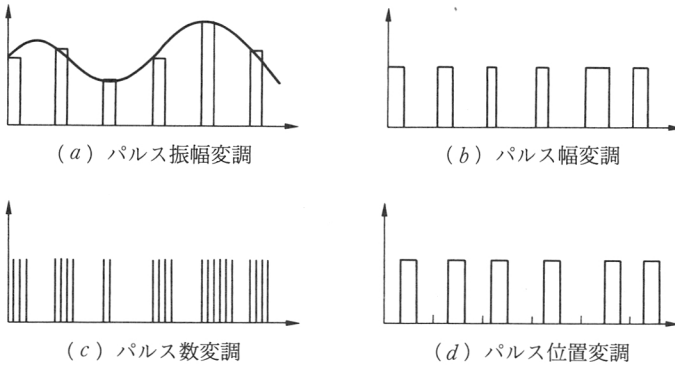


図 1.3 パルス変調方式

ulation) と呼ばれ、広く利用されている^{†1}。いくつかの方式を簡単に図示すると、図 1.3 のようになる。

図(a)では、パルスの高さがサンプリング時刻のアナログ信号の振幅と一致している。また、図(b)では、パルスの幅がアナログ信号の振幅に比例している。さらに、図(c)ではパルス数が、図(d)ではパルスの立ち上がる位置が、それぞれアナログ信号の振幅に比例している。これらの図では、アナログ信号が正の場合について示したが、負の場合には負のパルスを用いて表すことができる。

パルス変調方式のうち、PNM と PCM ではパルス変調によって信号がデジタル化されている。また、大まかには、PNM のパルス数を 2 進符号化したものが PCM であると考えることができる。

変調方式を利用するときには、**変調器** (modulator) と **復調器** (demodulator) が必要である。変調器と復調器は、併せて **モデム** (modem) と呼ばれている。

注 1.1 ベースバンド伝送を基底帯域伝送と呼ぶこともある。また、搬送帯域伝送は搬送波伝送あるいは帯域伝送などとも呼ばれている。

^{†1} 1.3 節を参照。

1.2.2 信号の標本化と標本化雑音

図 1.2 の入力信号が音声のようなアナログ信号の場合には、離散時間信号に変換するための**サンブラ** (sampler) すなわち**標本化器**と、離散値信号に変換するための**量子化器** (quantizer) が必要である^{†1}。

一般に、入力信号のスペクトルはかなり広い帯域にわたっていることがあるので、サンプリングによって**折返し雑音** (folding noise) を生じないように注意しなければならない。そのためには、あらかじめ適当な遮断周波数 f_c を持つ低域フィルタすなわち**アンチエイリアシングフィルタ** (antialiasing filter) を通した信号 $s(t)$ をサンプリングすればよい。

いま、図 1.4 の振幅特性を示すアンチエイリアシングフィルタを使用した場合を考えよう。ただし、 $\omega_c = 2\pi f_c$ は遮断角周波数、 $\omega_m = 2\pi f_m$ は最大角周波数である。フィルタの特性としては、 f_m になるべく f_c に近い方が望ましい。また、図 1.5 に示すように、アナログ信号 $s(t)$ のサンプリング周期を T とする。

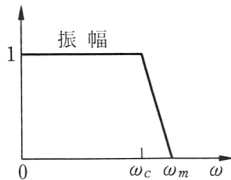


図 1.4 フィルタの振幅特性

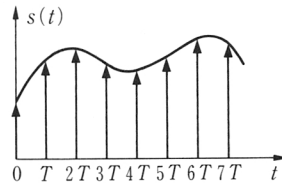


図 1.5 アナログ信号の標本化

このとき、**サンプリング定理** (sampling theorem) すなわち**標本化定理**から $T \leq 1/(2f_m)$ が必要である^{†2}。例えば、音声信号の PCM 通信方式では、 $f_c = 3.4$ kHz として、8 kHz でサンプリングしている。したがって、この場合には $f_m \leq 4$ kHz でなければならない。

サンプリングによる離散時間信号 $r(kT)$ ($k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$) を利用すると、 $T = 1/(2f_m)$ のとき $r(t)$ は次式で表される。

†1 第 1 巻「デジタル信号処理と基礎理論」を参照。

†2 第 1 巻「デジタル信号処理と基礎理論」を参照。

索

引

【あ】

アイ 30
 アイダイヤグラム 29
 アイパターン 30
 アキュムレータ 194, 197
 アークタンジェント
 FM 復調器 151
 アークタンジェント方式 151
 アダプティブアレイ
 アンテナ 73, 86
 圧縮 9
 アナログ SSB 復調器 142
 アナログ携帯・自動車電話
 方式 159
 アナログ信号 2
 アナログセルラーシステム 181
 アナログ通信システム 2
 アナログ復調器 141
 アナログ変調 131
 アナログ変調方式 44
 誤り位置多項式 102, 103
 誤り検出・訂正符号 90
 誤り再送方式 275
 誤り訂正 265, 275
 誤り訂正アルゴリズム 101
 誤り訂正符号 90, 186
 誤りパターン 103, 104
 アロハ方式 172
 暗号化 71
 暗号技術 75
 暗号システム 71
 アンチエリアシング

フィルタ 6
 安定性 40
 アンテナ切替え方式 273

【い】

位相変調方式 51, 131
 位置登録 229
 位置登録制御 252
 位置登録ゾーン 229
 一様量子化 7
 一様量子化器 9
 一斉呼出し 253, 255
 一斉呼出しチャンネル 228
 一般化 Tamed FM 133
 移動管理 251
 移動体衛星通信 70, 203
 移動体衛星通信システム 57
 移動体セルラーシステム 86
 移動通信 17, 56, 120, 200
 岩垂符号 114
 インターネット 265, 267, 280, 281
 インタリーブ 91, 129, 187
 インタリーブド NRZ 116
 インテリジェントネットワ
 ーク 223
 インパルス応答 27, 28, 29, 30, 31, 32

【う】

ウィンナー 14, 15

【え】

衛星放送 54
 遠近問題 74, 166, 169

【お】

オーバサンプリング 11
 オーバフロー 41, 152, 194
 オーバヘッド 162
 オフィスコードレス電話 234
 折返し雑音 6
 折返し 2 進符号 13
 折返しひずみ 155
 音声 CODEC 278
 音声信号 19, 20
 音声符号化方式 198

【か】

回線交換形通信 280
 可逆符号化 190
 拡散 165, 167
 拡散復調 59, 62
 拡散符号 18, 58, 60, 63, 76, 167
 拡散変調 59
 角度ダイバーシチ 176
 角度変調方式 51, 131
 下側波帯 47, 48
 過負荷雑音 8
 可変等化器 38
 ガロア体 99, 101
 干渉雑音 166
 干渉妨害 127

干渉保護比 211, 212
 観測雑音 27, 29
 関門機能 215

【き】

擬似雑音系列 62, 76
 擬似3進方式 24
 基底帯域伝送 5
 基本繰返しセル 211, 212
 基本繰返しセル数 211
 逆拡散
 60, 62, 68, 165, 167
 90度PSN 150
 90度移相器
 144, 150, 199
 90度移相器方式 141, 144
 90度移相ネットワーク
 144
 狭帯域CDMA方式 169
 狭帯域干渉 85
 共通制御チャンネル方式
 245
 共通双方向制御チャンネル
 228
 局発拡散符号 81, 82, 83
 切替えダイバーシチ 178

【く】

空間ダイバーシチ 176
 クオドラチャ方式
 151, 153
 グレイ符号 13

【け】

係数感度 39, 40
 携帯・自動車電話
 202, 205
 携帯電話 70
 原始多項式 97, 99
 検出確率 81
 検波器 45
 検波後合成 177
 検波後選択方式 273

検波前合成 177

【こ】

高性能移動通信網 225
 格子形フィルタ 86
 公衆移動通信 201
 公衆移動通信システム
 227
 高速伝送 34
 高速同期捕捉 76
 高速付随制御チャンネル
 228
 広帯域CDMA方式 169
 高能率符号化 22
 勾配過負荷雑音 10
 呼制御 251
 固定小数点DSP
 144, 150, 192, 193, 194
 固定小数点方式 192
 固定等化器 38, 42
 コネクション型 262
 コネクションレス型 262
 誤報確率 81
 コンボルバ 74

【さ】

再帰形等化器 38, 40
 再帰形フィルタ 38, 86
 在圏機能 215
 最小多項式 100
 再生 20
 再整形 20
 再生中継 19
 再生中継器 20, 24
 再送制御 265
 再送方式 187, 188
 最大位相偏移 52
 最大周波数偏移 52, 131
 最大ドップラー周波数
 122
 最大比合成ダイバーシチ
 177
 最尤検波 80

最尤復号法 115
 雑音余裕度 66
 差動PSK方式 55
 サービスチャンネル 250
 サービスチャンネル確立
 フェーズ 248, 250
 差分PCM 22
 差分方式 25
 3余り符号 13
 32kbpsベアラ伝送
 259, 265
 算術符号化 190
 サンプラ 6
 サンプリング定理 6
 残留側波帯 48
 残留側波帯変調方式 48

【し】

時間ダイバーシチ 176
 時間ホッピング方式 65
 自己相関関数
 63, 82, 84, 123
 自己直交符号 113
 自動車電話 202
 自動等化器 38
 時分割多元接続
 時分割多元接続方式
 17, 159
 時分割多重 15
 時分割多重化 18
 時分割多重化方式 15
 遮断角周波数 47
 シャドウフェージング
 176
 シャノン 14, 15
 周期多重化方式 16
 縦続形構成 39, 41
 周波数選択性フェージング
 176
 周波数ダイバーシチ
 70, 176
 周波数ダイバーシチ効果
 65

周波数分割多元接続 57
 周波数分割多元接続方式
 17, 159
 周波数分割多重 15
 周波数分割多重化方式 16
 周波数変調 58
 周波数変調方式 51, 131
 周波数弁別器 53
 周波数ホッピング変調方式
 59
 周波数ホッピング方式 70
 受信拡散符号 83
 受信機 1
 受信信号 27
 受信ダイバーシチ
 128, 178
 受信フィルタ 31
 受動相関法 83
 巡回符号 96, 98, 99
 循環方式 226
 瞬時圧伸 9
 瞬時角周波数 51
 瞬時レベル変動 121
 乗算器 154
 上側波帯 47, 48
 状態遷移図 117, 118
 情報源 1
 情報セキュリティ 56, 71
 情報チャンネル 227
 情報率 93
 処理利得 66
 シリアルサーチ法 81
 伸長 9
 シンドローム 95, 98, 102
 シンドローム系列
 109, 111, 113, 114
 シンドローム生成回路
 114
 シンドローム生成器 111
 振幅位相変調方式 49
 振幅変調 58
 振幅変調器 45
 振幅変調方式 44

【す】

スケーリング 194, 196
 ストリートマイクロセル
 245
 スプレッドアロハ方式
 175
 スペクトル拡散通信 17
 スペクトル拡散通信方式
 16, 56
 スペクトル拡散変調 59
 スペクトル整形 53
 スライディング相関法 81
 スループット 173, 267
 スロットッドアロハ方式
 174
 スロット間干渉 165

【せ】

制御チャンネル 227
 整合フィルタ 74, 82
 整合フィルタ法 81, 82
 静止画像 22
 生成多項式 96
 設定フェーズ 248
 セル
 17, 207, 209, 210, 256
 セルラーシステム
 75, 127, 202, 209, 214,
 234
 セルラー方式 229
 ゼロ交差方式 151
 ゼロ交差検波器 54
 全域通過フィルタ 145
 線形帰還シフトレジスタ
 76, 98
 線形複雑度 78
 線形符号 94, 96
 線形変調 131, 242
 線形予測フィルタ 85
 選択合成ダイバーシチ
 177
 選択性フェージング 69

【そ】

相関器 63
 相関検波 170, 171
 相互相関関数 84
 送信機 1
 送信信号 27
 送信ダイバーシチ
 128, 178
 送信電力制御法 75
 送信フィルタ 31
 側波帯 45
 側波帯フィルタ 48, 49
 組織符号 98
 測距測位 72
 ソフトハンドオーバー
 57, 233, 234
 ソフトハンドオフ 166

【た】

帯域拡散比 66
 帯域通過フィルタ 16
 帯域外相対輻射電力スペク
 トル密度 137
 帯域伝送 5
 帯域フィルタ 16
 ダイナミックレンジ
 193, 194, 196, 197
 ダイバーシチ 128
 ダイバーシチ通信 175
 ダイバーシチ方式 272
 ダイヤルパルス 19
 他局間干渉 67, 73, 86
 多元接続 17
 多重波伝搬 120
 多重 PAM 信号 18
 多重 PCM 信号 19
 畳込み符号 91, 113
 多値符号方式 26
 タップ付き遅延線 82
 単極方式 23
 単位遅延演算子 41
 短縮符号 96

単側波帯変調方式 47

【ち】

遅延回路 145

遅延器 154

遅延分散特性 125

遅延ロックループ法
81, 84

着信制御 255

着信接続 220

チャンネル共有方式 159

チャンネル占有方式 159

チャープ変調方式 65

中国人の剰余定理
106, 107

長時間平均伝搬損失変動
121

直接拡散変調方式 59

直接拡散方式 70

直接形構成 39

直交振幅変調方式 49

直交チャンネル 50

【つ】

通信チャンネル切替え制御
256

通信フェーズ
248, 250, 265

通信容量 14

通信路 1, 91

通信路容量 14

通報 1

【て】

低域通過フィルタ 3

低域フィルタ
3, 16, 19, 31, 45, 46,
47, 145, 149, 154

デジタル AM 復調器
148, 150

デジタル SSB 復調器
146

デジタル移動通信網

215

デジタル記録再生装置
27

デジタル携帯・自動車電
話方式 159, 163

デジタルコードレス電話
234, 236, 237, 240

デジタル信号 2, 23

デジタル信号処理
1, 85, 89, 191

デジタルセルラ-
システム 182

デジタルセルラ-方式
191

デジタル通信システム
2, 29, 30

デジタル伝送システム
53

デジタル等化器 37

デジタルフィルタ 199

デジタル復調器
141, 144

デジタル復調方式 141

デジタル変調 131

デジタル変調方式 131

定振幅変調方式 131

低速付随制御チャンネル
228

適応デジタルフィルタ
73, 85, 86, 197, 199

適応 DPCM 方式 22

適応デルタ変調方式 11

適応等化器 38, 42

適応ノッチフィルタ 85

適応量子化 7

適応 RAKE 受信機 80

テストパルス 42

データ通信 20, 275, 280

データ伝送 257

デマルチプレクサ 147

デュオバイナリ方式
34, 36

デルタシグマ方式 11

デルタ変調方式 10

電圧駆動発振器 84

伝送速度 14, 19, 32

伝送ひずみ 69

伝送路 24, 27

電力スペクトル
59, 60, 64

電力スペクトル密度
59, 70, 122

【と】

同一チャンネル干渉
127, 212, 213

等化器
2, 24, 37, 39, 129, 162,
270

動画像 22

同期検波 45, 49, 62, 133

同期保持 62, 74

同期捕捉 62, 74

同相チャンネル 49

等利得合成ダイバーシチ
177

トランスバーサルフィルタ
82, 85

トレーニング系列 42

トレリス線図 118

【な】

ナイキスト間隔 31

ナイキスト基準 32, 49

ナイキスト伝送方式 132

ナイキストの第1基準 33

ナイキストの第2基準 33

ナイキスト方式 32

【に】

2乗余弦特性 32

2進符号化 12

2相位相変調 82

2相 PSK 63

2相 PSK 方式 54

2値信号 18, 19

2 値符号方式	26
【は】	
バイポーラ方式	24
パイロット信号	276
波形再生機能	20
パケット	187, 188, 189
パケット信号	160
パケット接続方式	187
パケット通信	280
パケット伝送	262
パケット方式	171
パーシャルレスポンス	115
パーシャルレスポンス方式	34, 116, 132
パスダイバーシチ	70, 170
バースト誤り	91, 104, 113, 187
パソコン通信	280
発呼制御	254
発信接続	219
ハフマンの符号化法	14
ハフマン符号化	190
ハミング距離	93
ハミング符号	95, 98, 99, 100
パリティ	93
パリティ検査行列	94, 95, 104
パリティ検査多項式	97
パルス位置変調	4
パルス周波数変調	4
パルス信号	23, 27
パルス振幅変調	4
パルス数変調	4
パルス整形フィルタ	45
パルス幅変調	4
パルス符号変調	4
搬送帯域伝送	4, 5
搬送波	4, 44, 46, 52, 62
搬送波伝送	5
搬送波抑圧	46

搬送波抑圧単側波帯	
変調方式	48
搬送波抑圧両側波帯	
変調方式	47
ハンドオーバ	164, 232, 233, 256
【ひ】	
非再帰形等化器	38, 39
非再帰形フィルタ	38
非周期多重化方式	16
非線形変調	131
ビタビ復号法	115, 117
ビット誤り率	66
ビットレート	19, 20
非同期検波	45, 53
非同期CDMA	73
非同期スペクトル拡散多元	
接続	71
非同期符号分割多元接続	71
被変調信号	44
標本化	3, 18
標本化器	6
標本化雑音	7
標本化定理	6
ヒルベルト変換	141
ヒルベルト変換器	144, 148, 150, 151

【ふ】

ファイヤ符号	92, 104
ファクシミリ	207, 275
ファクシミリ信号	183
フィードバックダイバーシ	
チ	179
フィルタ方式	141, 142
フェージング	2, 52, 69, 121
フェージング伝送路	175
フェージングピッチ	122
複極方式	24
復元フィルタ	2

復号	3
復号器	3
復調器	5, 45
符号化	3
符号化変調方式	138, 139
符号間干渉	2, 30, 31, 32, 34, 37, 125, 129
符号器	3, 18, 91
符号分割多元接続	56, 57
符号分割多元接続方式	17, 159
付随制御チャンネル	228
付随チャンネル方式	245
浮動小数点DSP	144, 150, 192, 193, 195
浮動小数点方式	192
フラットフェージング	121
フーリエ変換	28, 30
プリコーダ	35
プリコード	116
プリセット形自動等化器	42
ブロック符号	91
プロトコル	188
分割多重方式	188

【へ】

ベアラ伝送	259, 261
平均受信レベル変動	121
平均同期捕捉時間	81
並列形構成	39, 41
ベースバンド信号	27, 38, 45
ベースバンド伝送	4, 5, 23, 29, 34
変換符号化方式	22
変調器	5
変調指数	52, 131, 132, 141
変調信号	44, 51
変調速度	20

偏波ダイバーシチ 176
 変復調方式 130

【ほ】

ボ ー 20
 報知チャネル 227
 包絡線検波器 81
 補間雑音 7
 補間処理 150
 ホッピングパターン 63
 ホッピングレート 65
 ホーム機能 215
 ホームコードレス電話 234
 ポーラ RZ 方式 26
 ポーラ方式 24, 36
 ポーリング方式 188

【ま】

マイクロセル 235
 待ち受け制御 251
 マルチアクセス方式 187
 マルチキャリア方式 65, 80
 マルチパス 2, 69, 176
 マルチパスフェージング 125, 126, 129, 272
 マルチプレクサ 146
 マルチホップ方式 65, 80
 マルチメディア移動通信 267
 マルチユーザ検波 73
 マルチユーザ受信 74
 マルチユーザ受信機 80
 丸め誤差 194
 マンチェスタ方式 25

【み】

ミッドトレッド形 7
 ミッドライザ形 8
 ミッドライザ形量子化器 13
 見なし音声伝送 258

【む】

無線 LAN 57, 181, 185
 無線アクセス方式 159
 無線回線制御 164
 無線回線制御信号 226
 無線管理 250
 無線通信 17, 43, 52
 無線呼出し 201, 207

【も】

モデム 5
 モード演算 35

【ゆ】

有限語長問題 40
 有限体 99
 ユーザ情報 226
 ユーザ占有形制御チャネル 228

ユーザ容量 66
 ユニポーラ RZ 方式 26
 ユニポーラ方式 23, 24

【よ】

予測器 21
 予測符号化方式 21, 22
 呼出しチャネル方式 227
 予約方式 188
 4相 PSK 方式 54

【ら】

ライス分布 126
 ランダムアクセス方式 160, 188
 ランダム誤り 91
 ランダム誤り訂正符号 187

【り】

離散コサイン変換 22
 リタイミング 20
 リード・ソロモン符号

92, 99, 101
 リミッタ 131, 155
 リミットサイクル 197
 両側トランスバーサルフィ
 ルタ 86
 量子化 3, 18
 量子化器 6, 8
 量子化誤差 7, 194
 量子化雑音 7
 量子化ステップ幅 7, 8, 9, 11
 量子化レベル数 8
 両側波帯変調方式 47
 リンクチャネル 250
 リンクチャネル確立フェー
 ズ 248, 251
 隣接スロット干渉 164
 隣接チャネル干渉 127, 164

【れ】

レイリーフェージング 121, 123, 272
 レイリー分布 122, 126
 レジスタ 194, 197

【ろ】

漏 話 15
 64 kbps ベアラ伝送 261
 ローミング 215
 ロールオフ率 32
 論理制御チャネル 249
 論理チャネル 227

【わ】

ワイナー・アッシュ符号 108

【A】	
ACCH	228
ADM	136
ADPCM	244
ADPCM 方式	22, 235, 258
A-D 変換器	3, 141, 194, 196
AM	58
AMI 方式	25
AM 信号	52, 141
AM 復調器	142
AM 方式	44
APF	146
APSK 方式	49
ARQ	278
ASIC	83, 88
ASK 方式	44
ATM	17
A 則	10
【B】	
BCCH	227, 229, 231, 248
BCH	229
BCH 下界	99
BCH 符号	99, 101
BER	66
bit/s	15
BMU	196
bps	15
BPSK	63, 83
【C】	
CCPSK	134
CDMA	17, 56, 57, 71, 159, 207
CDMA システム	72
CDMA 方式	165, 268
CDPD	184, 263

CIRC	103
CRC 符号	92
CT-2	236, 237, 238
【D】	
D-AMPS	207
D-AMPS 方式	268
D-A 変換器	3, 141
DCCH	228
DCT	22
DDS	88
DECT	236, 237, 238
DLL	84
DLL 法	84
DMUX	147, 156
DPCM	22
DPSK 方式	55, 65
DS	59
DSB-SC 方式	47
DSB 方式	47
DS/FH ハイブリッド方式	65
DSP	3, 38, 141, 142, 145, 148, 150, 151, 155, 157, 191, 193
DS 方式	65
【F】	
FACCH	165, 228, 248
FDM	15
FDMA	17, 57, 159
FDMA 方式	160, 242
FFH	65
FH	60
FH/CDMA	87
FH 方式	63, 65
FIR 等化器	39
FIR フィルタ	22
FM	58
FM 信号	52, 53, 131

FM 復調	133
FM 復調器	53, 151, 154
FM 方式	51, 131
FPLMTS	56, 207, 208, 225
FSK 信号	53
FSK 方式	53, 58, 65
【G】	
G4 ファクシミリ	261
GMSK 信号	133
Go-Back-N 方式	188
Gold 系列	76
GPS	72
GSM	127, 196, 207, 237
GSM 方式	228, 268
【I】	
ICMA	175
IIR 帯域フィルタ	196
IIR 等化器	39
IIR フィルタ	199
IMN	225
IMT-2000	207
IN	223, 224
IS-54	196
ISDN	236, 237, 239, 259, 261, 272
ITU	223
ITU-R	268
ITU-T	191, 244
【J】	
JPEG	22
【L】	
LCCH	248
LCH	250
Lempel-Ziv 符号	190
LFSR	76, 98, 105, 106

LFSR 系列 76
 LPF 84
 LSB 信号 141

【M】

M-ary/SS 変調方式 79
 MASK 55
 MDPSK 55
 MFSK 55
 MPEG 22
 MPSK 55
 MUX 146

【N】

NRZI 116
 NRZ 方式 26
 N-STAR 203, 207
 N-STAR 移動通信
 システム 203

【O】

OOK 方式 45
 OSI 250

【P】

PAM 4
 PCH 228, 229, 231, 248
 PCM 4
 PCM-24 方式 18
 PCM-FDM 通信方式 20
 PCM 信号 19, 20
 PCM 通信 18, 20
 PCM 通信システム 18
 PCM 通信方式 18
 PCN 237
 PDC 163, 196, 207, 227, 228
 PDC システム 163, 164, 183, 191, 226
 PDC デジタルセルラー方
 式 206
 PDC 方式

228, 230, 231, 268,
 272, 274, 279

PFM 4
 PHS 138, 203, 205, 236,
 237, 239, 248, 257
 PHS-PD 263
 PHS 標準伝送プロトコル
 264, 265
 PIAFS 264
 PLL 88
 PLL-QPSK 136
 PM 信号 52
 PM 方式 51, 131
 PN 59
 PNM 4
 PN 系列 62, 63, 74, 76, 79
 PN 符号 167
 PPM 4
 PRML 115
 PRML 方式 116, 117
 PSI-CELP 方式 275
 PSK 方式 54, 58
 PSN 144
 PSTN 236
 PWM 4

【Q】

QAM 方式 49, 58
 QPSK 方式 54, 274

【R】

RAKE 合成 234
 RAKE 受信機 80, 169, 170, 171
 RAKE 方式 80
 RBT 255
 rms 遅延スプレッド 125
 RS 符号 93, 101
 RZ 方式 26

【S】

SACCH 165, 228, 229, 232,
 233, 248
 SCCH 228, 229, 231, 248
 SCH 250
 SCPC 160
 Selective-Repeat 方式 189
 SFH 65
 SN 比 8, 14, 66, 161, 196
 SSB-SC 方式 48
 SSB 信号 141
 SSB 復調器 145
 SSB 変調信号 142
 SSB 方式 47
 SS 信号 70, 72, 85
 SS 通信システム 60, 62, 63
 SS 通信方式 56
 STM 17
 Stop-and-Wait 方式 188

【T】

T1 方式 18
 Tamed FM 132
 TCH 165
 TDD 方式 243
 TDM 15
 TDMA 17, 57, 159
 TDMA/FDMA 17
 TDMA/FDMA 方式 161, 163
 TDMA 方式 161, 243
 TI 157

【U】

UPCH 248

		VSELP	198		
		VSELP 方式	275	ΔM 方式	10
[V]		[Z]		$\Delta \Sigma$ 方式	11
VCO	84			μ 則	10
VOX	248	z 変換	28	$\pi/4$ シフト QPSK	
VSB 波	49				137, 242
VSB 方式	48				

1966年 東京工業大学理学部電子工学科卒業
1971年 東京工業大学大学院理工学研究科
電子工学専攻（博士課程）修了，工学博士
1971年 千葉大学講師
1974年 千葉大学助教授
1984年 千葉大学教授
現在に至る

情報通信とデジタル信号処理

Communications and Digital Signal Processing

© Takashi Yahagi 1999

1999年1月20日 初版第1刷発行

検印省略

編著者 や はぎ たか し 嗣
谷 萩 隆 嗣
東京都文京区千駄木5-19-10
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来辰巳
印刷所 新日本印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 4-339-01128-2

(青田) (製本：愛千製本所)

Printed in Japan



無断複写・転載を禁ずる

落丁・乱丁本はお取替えいたします