

通信網における信号処理技術の一展開*

島田正治**

(NTT ヒューマンインタフェース研究所)

山崎芳男***

(早稲田大学)

1. 緒 言

通信網においてデジタル信号処理技術が実用に供された最初の例¹⁾は、伝送路のデジタル化に伴う音声符号復号化器であろう。すなわち、昭和40年頃、人件費を含む道路工事費の増加、道路交通事情からくる管路敷設の困難さ等の社会的背景を受けて、大都市の市内中継伝送路の回線数増大の要求をどのようにして技術的に克服したらよいかという切実な問題が提起された。このため、市内中継伝送路にデジタル伝送方式、すなわちPCM-24方式を導入することによってこれら問題を解決すると同時に市外中継伝送路もデジタル化することによりチャンネル当たりの経済性を高め、伝送路コストの軽減を図ってきた。

一方、通信メディアも音声だけでなく文字や絵を扱うデータ・ファクシミリ・映像等のサービスのニーズが台頭し、このため通信網でも交換機をデジタル化したデータサービス(DDX:昭和51年)²⁾を皮切りにファクシミリサービス(FICS:昭和56年)³⁾が開始された。更にこれらの独立なサービスの通信網を一つの通信網に統合化するISDN^{4),5)}の概念が1972年12月CCITT会合で生まれ、更に1988年4月にISDNサービスが商用化された。

このような時代的変遷を遂げてきた通信網のユーザインタフェースはメディアによらないデジタル信号となり、今まで音声のアナログ信号をデジタル信号に変換、また逆変換するアナログデジタル変換機能はユーザ機器の中に組み込まれることになった。

本稿では、今までの通信網における信号処理技術分野を再考すると共に、今後どのような信号処理技術が通信網に必要となるのか、また通信メディアの大半を占める

音声について今後の一つの技術展開を考察してみる。

2. 通信網における信号処理技術の適用

信号の定義はフランク著の「信号理論」⁶⁾に記載されている。すなわち「信号とは何等かの方法で物理的な系の状態に関する情報を伝達する量である」と言われている。信号処理とはその量に変換するために、その量の大きさや性質を各メディアに適合し、かつ、ある目的を達成するための信号に処理する技術と考えられる。この考え方はあくまでも信号が人間あるいは機械にとって理解し易くさせるための信号変換ということになる。

シャノンは論文⁷⁾の中で人間の通信の中にレベル1(Physics)、レベル2(Semantics, Syntax)、レベル3(Pragmatics)の三つの階層をすでに提唱しており、現在の通信技術レベルはたかだか通信シンボルを正確に授受するレベル1に達しているにすぎないと金谷は指摘している⁸⁾。

現在の研究ではこのほかに通信の最も好ましい情報の中身はいったい何であるのかといった、中身の情報内容までに立ち至っている。すなわち人間相互間の通信によって欠かせない情報はいったい何であるのかを探究すること、それが21世紀の知的処理技術と言われている。日本音響学会誌で原島、森島らは「知的通信」⁹⁾とは「送信端と受信端あるいはネットワークが互いに知識を共有し、通信路においては真に本質的な情報のみのやりとりを、利用者に対してはその情報処理様式に最も整合したインタフェース環境を提供する通信である。また、通信技術と人工知能・知識処理技術とを融合させることにより人間主体の使い易いサービスを提供する通信である」と定義している。この知的通信は人間の真の通信であり、21世紀で実現可能となると予想されている。

このように通信における信号処理の定義を時代と共に拡張しても構わないと思われる。ここでは以下に示すように四つの処理技術からなるものを信号処理と定義して話を進めることとするが、状態処理は新たにここで提案する技術であって、今後、通信にとって重要な技術とな

* Evolution of digital signal processing in communication networks.

** Shoji Shimada (NTT Human Interface Laboratories, Musashino, 180)

*** Yoshio Yamasaki (Waseda University, Tokyo, 160)

ると予想される。

情報処理：情報を機械や人間相互間の伝達形式に合致させるための処理。

状態処理：情報処理と信号処理の双方に位置し、より自然性 利便性を高める状態情報を伝達するための処理。

信号処理：狭義の意味での信号処理であって、物理的な系の状態に関する情報を伝送路やその他の用途に適した信号に変換する処理。

伝達処理：伝送路に整合した信号を遠隔地に伝えるための処理。

次に通信網 における処理体系について述べる。図 - 1 は人間と人間、あるいは機械と機械、又は人と機械とが通信するための処理体系を機能別に表したものである。すなわち、観測される物理量（音声、映像、文字、変位）は電気的に変換した信号によって処理し易い形式に変換される（変換器）。次に各メディア情報量や伝送容量を考慮した符号復号化信号に変換され（符号復号器）、更に伝送路には伝送し易い波形に変換される（変復調器）。これらの目的はより遠距離に信号を伝達させるためのものである。このようにして遠く離れた遠隔地に信号を伝えることによって相互間の意思の伝達及び疎通が図られる。

通信網を構成する主な機能と上記の四つの技術とを分類すると図 - 2 に示すようになる。現在盛んに研究開発されている帯域圧縮技術は信号変換機能に含まれるが、前述したごとく通信における符号復号化の機能は網から端末に移行され、時代と共に信号変換機能は通信メディア変換機能と融合し、その境界は曖昧なものになりつつある。すなわち、図 - 1 の Type A と Type B が融合して信号の重要な特徴を抽出・強調し不要な情報を抑圧・除去する研究開発がなされている。

再度、ここで提案する信号処理での新しい分野は、話者検出、話者認識、仮想共有空間生成等のための状態情報を処理する技術であり、メディア信号のみの情報パスとは別なチャンネルあるいは同一チャンネルに制御情報の授受を行い、自然性豊かな利便性の高い通信を目指すものである。この状態処理技術について具体的一例を節 3. 2

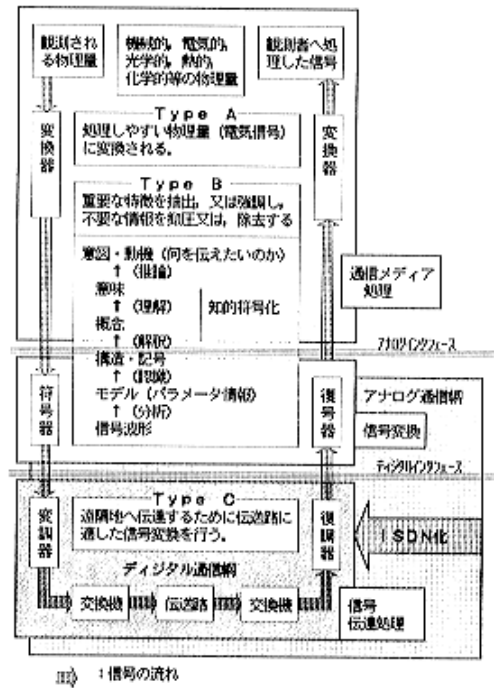


図 - 1 通信網における信号処理機能の体系

で述べる。

一方、通信サービスの発展を考慮すると、図 - 3 に示すようにいつでもつながる電話を目指し全国ダイヤル即時化を行った 1979 年、すなわち電話の充足が可能となった年でもある。この時点ですぐつながる通信として第 1 の目的の意思の伝達がなされ、これを第 1 世代として名付け、更に前述した知的通信を第 3 世代とするならば、第 2 世代はいったい何であろうか？ これこそ、通信網にとって重要であり、かつ人間との通信に欠かせない自然性・利便性のある通信を提供することではないだろうか？ ここでは、このような単に情報信号だけでなくより自然性豊かな利便性を高める通信とするための技術展開を以下に述べる。

図 - 4 は通信フェーズから見た技術展開を、図 - 5、図 - 6 は距離、効率、各メディアから見た技術展開を示し

技術	通信メディア処理	信号変換	信号伝達処理
情報処理	音質、画像および文字認識合成、音声および画像鑑賞、等		
状態処理	話者検出、話者認識、話者検出、話者認識、話者状態認識等		
信号処理 (狭義の意味)	AD/D/A変換、各種符号化復号化、帯域圧縮、等		
伝達処理		変復調器	交換機、伝送路、交換機

通信網信号処理機能と技術の関連度：深い [縦線] 中 [横線] 浅い [白]

図 - 2 通信網機能における信号処理技術の種類

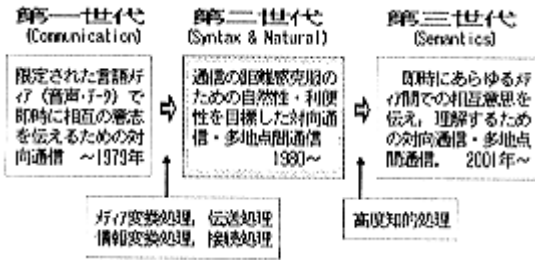


図 - 3 通信の発展予測

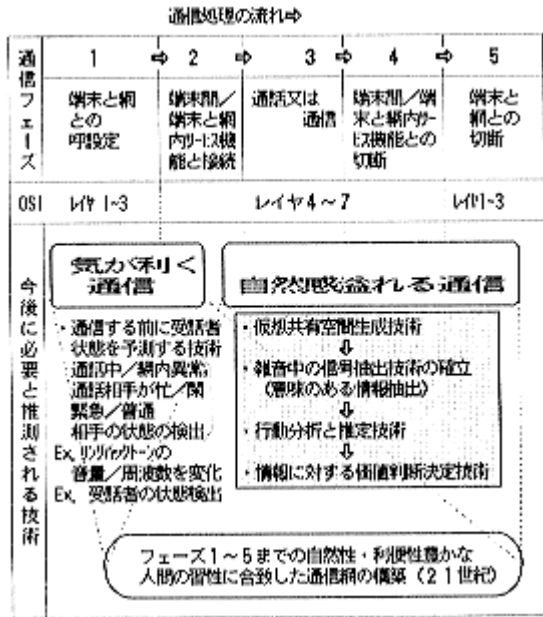


図 - 4 通信手順から見た技術展開 (時間軸)

ので、前者が時間軸から見た考察であるならば、後者は空間軸から見た考察に対応すると考えられる。

2.1 通信フェーズから見た技術展開

2.1.1 気の利く通信

現在の音声ダイヤル (音声認識によるダイヤル番号検出) 技術は接続処理技術をより高度なものとし、利便性の高い通信の一つとして期待されている。また、いつでもどこでも通話できるパーソナル電話の開発も急ピッチで進んでいる。更に利便性を推進するためにも人間の習性に合った通信方式の構築が重要となろう。送話者の種類や送話者の話の内容種類を前もって伝える実現例としてはトーンリングの音量や周波数を変化させ、少なくとも緊急の内容なのか、又は大切な人からの電話なのか、外線か内線かの情報内容を受話器を上げる前に知らせる機能がある。すでにPBXサービスでは実現されているものもある。しかしながら、現在の電話通信方式は相変わらず送話者優先の通話 (受話者の意志に関わらず送話器をとらざるえない通信形態) となっている。通信する前に受話者の状態を送話者が予測できる通信技術が重要となろう。受話者の状態 (忙しいのか暇なのか) を常

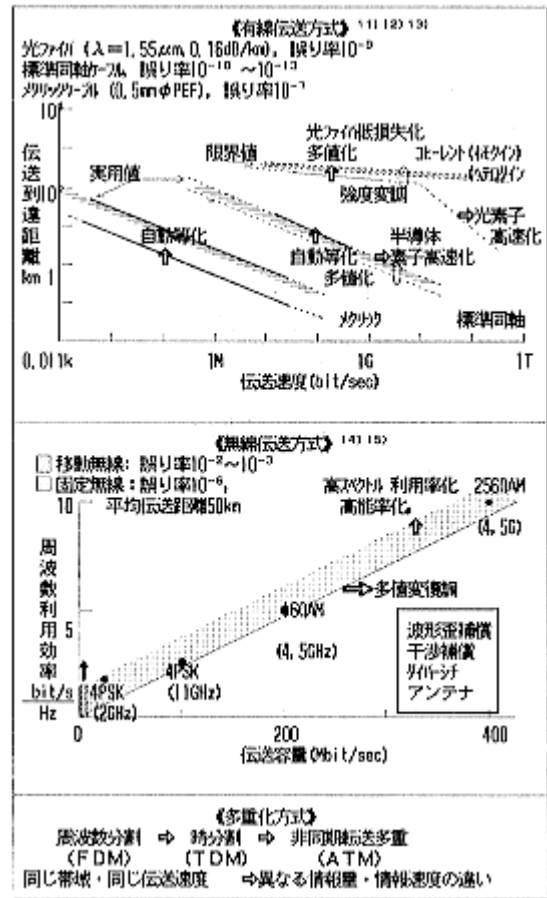


図 - 5 距離・効率・多重化から見た技術展開

時、発声の特性の検出や画像による情報動作の検出を行い、送話者が電話をかける前に、通話相手の受話者の状態を送話者に対して伝えることが重要ではなからうか。その情報を状態情報として送話者に伝達し、通話を一時断念するのか実行するのか送話者が判断できることも可能となろう。これらの機能はプライバシーの問題に関わるが通信網の機能として今後の重要な一要素と考えるてもよいと思われる。

2.1.2 自然感あふれる通信

音声の 64kbps の伝送速度は、前述したように今から 20 ~ 30 年前に実用化された PCM 方式から起因している。すなわち、0.3 ~ 3.4kHz の帯域の音声信号は 8 kHz サンプリングで μ 1aw 振幅圧伸則で 8bit デジタル信号に変換され、64kbps で伝送される。しかしながら、64kbps のデジタル伝送路により多くのアナログ情報を伝送する音声コーデックの帯域圧縮技術や、また 0.3 ~ 3.4kHz のアナログ帯域の中でより多くのデジタル情報を伝送するモデム変復調技術の進展は今の限られた回線容量でより多くの情報を伝送したいという経済的な要求に根拠している。また、これらの技術は何も今の有線伝送方式だけでなく、限られた資源である電波

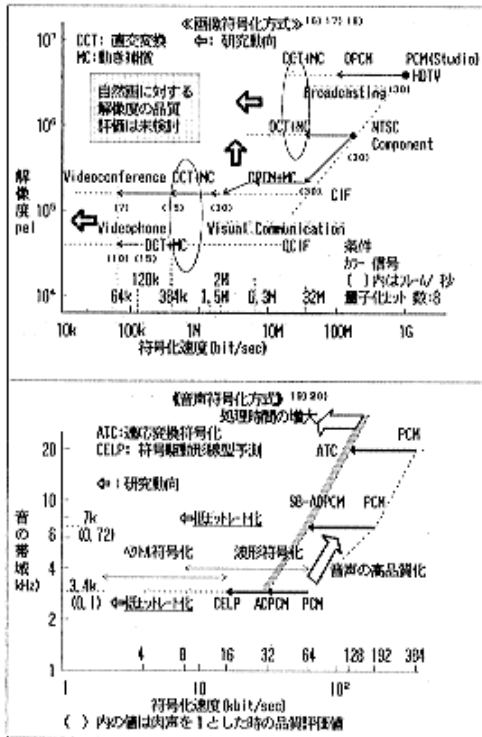


図 - 6 各メディアから見た技術展開

の有効利用が重要となるデジタル無線伝送方式や、将来の人工知能の口となる音声合成用メモリ容量を低減化させる技術（音声蓄積）にも適用される。

電話の3.1kHz帯域の音声はとても自然性のある音とは言いがたい。現在の帯域圧縮技術とデジタル伝送技術を活用することにより、何等の困難を要さず高品質音声伝送を実現できる時代となっている。更に、自然性ある通信、すなわち臨場感通信を実現するためには単に音声の帯域を広帯域化することでなく、何か補助的な信号を付与することにより、より自然性あふれる通信が可能となるのではないだろうか？ そのために図 - 4 に示した技術展開が必要となる。本資料では具体的な一例として技術レイヤの提案を節 3.2 で述べることとする。

2.2 距離、効率、各メディアから見た技術展開

どれだけ遠くに効率的に多量の情報を伝送することができるのか？ 図 - 5 は距離・効率から見た技術展開を示している。有線伝送方式⁽¹¹⁾⁻⁽¹³⁾では主にメトリック伝送、同軸、光ファイバ伝送方式があり、その用途によって使い分けができる。今後もより経済性の点からこの種の研究が必要となろう。また、無線伝送方式^{(14),(15)}では有限である無線周波数の有効利用を目的として1Hz当たりどれだけの情報量を載せることができるのかといった技術や、定常的な安定度の高い通信を維持したり、移動体でのあらゆる場所での可能な通信等の信頼性を高

める諸技術が重要となろう。また多重化技術は従来のFDM技術からTDM技術また更にはマルチメディア通信に適合するATM多重化技術と多重化効率を重視して変遷してきた。今後なお一層、多重化処理時間の短縮、各多重化段階でのコスト等の軽減、保守の充実等を図ると共に今までの順次多重化系列ではない飛び越し多重化もATM技術の確立と共に必要となると考えられる。

次に現在の各通信メディア処理技術が人間にとってどれだけ自然性を保つのに役立っているのかといった点について触れる。図 - 6 に示したように画像と音声の帯域圧縮技術⁽¹⁵⁾⁻⁽²⁰⁾は盛んに検討されているが、自然画に対する解像度の品質評価は未検討な部分が多く、更に今後も重要となろう。一方、音声については、帯域7kHzでの肉声と符号化音声との比較法による主観評価試験結果⁽²¹⁾で100人のうち72人まで区別つかないことが明らかになっている。しかしながら、3.1kHz帯域の音声を7kHz帯域音声と同程度の品質に変換できないものか？このようにすると今のアナログ網でも7kHzと同程度の品質伝送も可能となるばかりでなく、3.1kHzと7kHzとの同程度の品質の相互通信が可能となる。また、音声だけでなく、画像でも詳細な画面が欲しいという要求や特に多人数のテレビ会議などに見られるようなある画面の一部分の拡大縮小が自由に受信側で制御したい要求も出てくる可能性がある。

このような同一通信メディア内の相異なる仕様の相互変換通信技術がアナログ網が現存している限りは通信網に具備すべき機能となる。しかしながらこれも、ISDNが全家庭に普及後は端末相互間での機能となり、網から端末へこのような機能も移行してゆくことになるだろう。

3. これからの音声通信システムの技術展開

人間が外界から獲得する情報の大半が視聴覚によるものと言われてている。その中で圧倒的な通信量を占め（通信量の80%は電話）、かつ通信の意思疎通を有効的論理的に進めることができ、人間にとって汎用性の高い通信メディアは音声である。更に音声サービスは電話機による会話中心の通信から多地点臨場感通信、音質重視のテレホンサービス等の多様な通信サービスへ展開されると予想される。このように単に意思を伝える音声通信から自然性あふれる通信の実現に向けた考え方を以下に述べたい。

5.1 音声の高品質化

人間の聴力と発声領域は周知のように人間の各個人によって異なるが大方の特性についてはすでにロビンソン・ダットソンやフレッチャー・マンソンが行った有名な実験結果がある⁽²²⁾。人間の最小可聴限界曲線は年齢によっても異なり、かならずしも各個人が最小レベルの聴

力を有しているわけではないが、大方 10dBspl 程度以上の聴力を有し、100dBspl 以上では精神的な苦痛を訴える。また、人間の通常会話音声の発声周波数範囲及びレベルは 70Hz ~ 7kHz 程度、30 ~ 65dBspl とされている。音の明瞭度・迫力度を高めるため広帯域化を進める研究も発展するであろう。

現実では、帯域圧縮技術面は 3.1kHz 帯域の μ law 圧伸 PCM64kbps や、勧告 G.722 の 7kHz 音声帯域の SB - ADPCM²¹⁾ 64kbps や、NTT が専用線サービスとして提供しているステレオ用の 20kHz 2チャンネル帯域の圧伸 PCM²³⁾ があり、更に現在、CCITT や ISO で帯域 15 ~ 20kHz の符号復号化の研究が行われている。これらの音の符号復号化技術について十分に実用化段階にあると考えられる。

5.2 臨場感通信

一つのテーブルにあたかも出席者が着いたごとく異なる対地の各通話相手を接続し、発声する場所から送話者が今誰であるのかを容易に確認でき、現実の参集する通常会議に一步近づく通信システムを実現するには工学的にどのような技術が必要であろうか？

今から 30 年前、東北大の吉田らは「立体音の本質は何か？」と題して品質の因子分析を行っている²⁴⁾。この結果、方向性因子と残響感因子（背景因子）の二つの因子が立体感に大いに寄与していると報告され、更に音を忠実に伝送し再生する時間的構造と、方向性・残響感を再生する空間的構造の伝送が必要となると指摘している。

図 - 7 は音の通信に関する技術レイヤを新たに提案している。レイヤ1は今までの音声通信の基本となる技術、レイヤ2以上は第2章で述べた空間的構造を伝送するための状態処理技術である。すなわち、レイヤ2ではまず発声者がどこの方向から受聴できるのか、又はどこに送話者（音源）があるのかといった方向性のための技術を表し、レイヤ3では一つの仮想共有空間を生成又は再生するために背景音の処理技術を表している。これら音像定位や帯音処理はこの空間的構造の状態情報の一つの処理技術である。音の通信情報として必要となるのは単にレイヤ1だけでなく、今後はレイヤ2、レイヤ3が関与することとなると思われるが、技術レイヤが高くなるにつれて、通信情報から生成するものより受聴側での一体感を創成する状態処理技術が重要となると考えられる。

現在では、音場制御の考え方に音源を自分のいる場に自由に持ってくる方式1と受聴側が音源の場に出向いて聞く方式2の二つの方式が提案されている。

方式1は、受聴側で複数の発音源を用意し、送話者の音声とその複数の発音源と対応させ、送話者識別信号によって音像定位を制御する方式である²⁵⁾。この技術

技術レイヤ	双話系（再生生成）	伝送系および送受話系での課題	送話系（収音系）
	技術要素		技術要素
空間的構造の情報処理	レイヤ3（背景音処理） 広がり感制御 ・拡がり感処理（残響音） ・受音系での室内残響感 ・複数発音時の一体音源化	心理音響 音響共有空間生成処理	残響制御 送話系での室内残響特性 音源明瞭性 残響特性
	レイヤ2（定位処理） 音像定位制御 ・音像生成位置の明確さ ・多数音像位置の分離 ・遠近感制御・残響感を除いた明瞭度	音源位置の符号化 音像定位の復号化 室内空間音響特性	音源位置推定 音源位置の明確さ 多数音源の分離化
時間的構造の情報処理	レイヤ1（通信路処理） 音の迫力 音復号・電気音響 ・音量・音質 S/N 周波数特性 ・帯域非直線歪み ・過渡特性 ・適応応答性	伝送容量 伝送帯域 伝送遅延 エコー ハウリング	収音処理 (S/N) 入力ゲイン 室内雑音

図 - 7 音の通信技術レイヤ

は今後の複数対地の同時接続時の仮想共有空間生成（人工現実感：virtual reality）に重要となると予想されるが、この送話者識別信号も前述の状態情報信号に含まれると考えられる。

方式1を通信会議に適用する場合の特徴を以下に述べる。

多対地通信及び2対向のステレオ通信にも容易に拡張することができる。

受聴側で自由に音源の位置を配置することができる。

受信情報は一つの信号源（モノラル）でもよく、空間的構造パラメータ（状態情報信号）を別途伝達し、あらかじめ音場変化の情報を得ることができるのでエコー消去の設計が容易。

音源の位置推定技術^{26), 27)}が重要となる。

方式2は一般にトランスオーラルと呼ばれ、アタールとシュレーダが提案²⁸⁾したもので、現在多くの研究が発表されている²⁹⁾。図 - 8 にその方式構成図を示す。この考え方は音源の場で左右収音した音と同じ条件を両耳に与えるもので、受聴側で二つの拡声器から放射され、両耳に達する音波を原音場と一致させるような処理（逆フィルタ処理）を行う方式である。同方式は2チャンネルステ

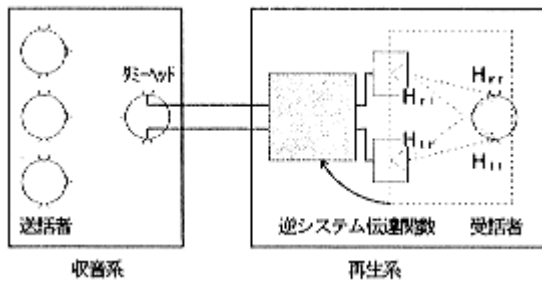


図 - 8 トランスオーラルの方式構成図

レオと同様に音像定位処理と背景処理が同時に行われるため、レイヤ2とレイヤ3が縮退統合化していると考えられる。通信においては対向通信や放送型通信での適用が考えられる。

方式2を通信会議に適用する場合の特徴を以下に述べる。

左右チャンネルの二つの伝送路を使用するので、通常の2チャンネルステレオの適用が可能。

通話相手の音像が忠実に再現できるので、より自然的な通信が可能。

拡声系においては長遅延時間の適応フィルタ、逆フィルタの畳込み演算処理が必要。

なお、第2章で述べた状態処理が音の通信技術レベルのレイヤ2や3の空間的構造の伝達に対応している。

方式1の多対地接続では網やノード装置で複数の話者の同時制御処理法(レイヤ2)や端末では音像の背景処理技術(レイヤ3)の確立が今後の課題となろう。このように音声や音楽における通信分野では未開拓の部分が多い。

4. ま と め

以上、通信網における信号処理技術の一展開と将来への新しい方向性について述べた。以下にまとめを述べる。

(1) 信号処理には従来の情報処理、信号処理、伝達処理の三つのほかに、今後はより自然性豊かな利便性の高い情報を伝達するための状態処理技術が必要となる。すなわち、通信フェーズから見た技術展開(時間軸)、通信効率及び各メディアから見た技術展開(空間軸)の2軸考察を行い、具体的に通話の前に受話者側の状態を送話者に伝達する状態処理技術によって利用者の利便性を高める気の利く通信の実現、共有仮想空間を生成するような自然感あふれる通信の実現、低品質の音声・画像信号から、より高品質な音声・画像信号を予測によって生成する技術の達成等の課題が今後の状態処理技術であることを挙げた。

(2) 更に具体的に音の通信に関する技術レイヤを提案した。従来の帯域、ダイナミックレンジの拡大の技術開発を中心とした時間的構造の伝送から、共有仮想空間

を生成するための音像定位処理技術、背景音処理技術等を対象とした空間的構造の伝送が重要な技術となることを指摘すると共に、音の通信の空間的構造の伝送がここで提案した状態処理技術の一例に対応することを述べた。

終わりに、世の中の通信メディアサービスがビジュアル(V)、インテリジェント(I)、パーソナル(P)といったVIPサービスに移行しつつある。音の通信の世界も従来のハンドセット通話又は拡声通話の音の通信パスの時代から、より自然性の高いサービスに移行してもよい時代が到来すべきと著者らは以前から考えていた。また、そのような時代が来るのも近い将来のことと期待している。

謝 辞

最後にご討論いただいた旧通信網企画推進研究部の皆様、伝送処理研究部三木部長、はじめ音声情報研究部古井部長、鹿野主幹員、小泉主幹員に感謝すると共に、浅学な知識しか有していない著者がこの分野での諸先輩、諸先生方々からお叱りのお言葉を頂戴するのを覚悟で、本学会誌に投稿させていただく機会を与えて下さった千葉工業大学城戸健一教授に感謝いたします。

文 献

- 1) 坂下隆義, "近距離24ch PCM方式 - 実用化の経緯と方式概要," 施設 16 (12), 92 - 96 (1964).
- 2) 高月敏晴, "デジタルデータ交換網を利用するデータ通信システムの新しい課題," 施設 30 (3), 48 - 54 (1978).
- 3) 北原安定, "ファクシミリ通信網サービスの開始にあたって," 施設 33 (10), 8 - 63 (1981).
- 4) 鈴木滋彦, 図解 ISDN - 多目的インタフェース (オーム社, 東京, 1988).
- 5) 江川哲明, 吉田 真, "ISDNシステムの概要," NTT R & D 38 (7), 721 - 728 (1989).
- 6) L. E. フランクス (猪瀬 博訳), 信号理論 (産業図書, 東京, 1974).
- 7) C. E. Shannon, "A mathematical theory of communication," Bell Syst. Tech. J. 27 (3), 379 - 423 (1948).
- 8) 金谷文夫, "ヒューマンコミュニケーションの数学的理論の可能性を求めて," ヒューマンコミュニケーション研究会 HC 90 - 8 (1990).
- 9) 原島 博, 森島繁生, "知的通信と知的符号化," 音響学会誌 45, 534 - 540 (1989).
- 10) 五嶋一彦, "ISDN現状と将来," NTT R & D 38 (4), 365 - 378 (1989).
- 11) 島田禎晋, コヒーレント光通信 (電子通信学会, 東京, 1988).
- 12) 重井芳治, 高速PCM (コロナ社, 東京, 1975).
- 13) CCITT 勧告 I. 430, I. 431, V10, V11, V28.
- 14) 小樽山賢二, 小牧省三, "64/256 QAM デジタルマイクロ波通信方式," 信学会誌 68, 889 - 895 (1985).
- 15) T. Murase, "256 QAM 400Mbit/sec microwave radio system," JTR (1988. 4).
- 16) 吹抜洋司, "画像のデジタル処理," 日刊工業新聞 (1988).
- 17) 武川直樹, 橋本秀雄, 加藤洋一, 大久保栄, "384kbit/sec 映像符号化装置," 研実報 37 (3), 245 - 252 (1988).
- 18) 大久保栄, 村上伸一, 安田 浩, "画像符号化と国際標準化," 信学会誌 71, 689 - 696 (1988).

通信網における信号処理技術の一展開

- 19) 八塚陽太郎, “中・高ビットレート音声符号化,” 信学会誌 70, 392-400 (1987).
 - 20) 林伸二, 北脇信彦, “適応予測符号化による高品位音響信号の符号化,” 音響学会音声研資 S82-43 (1982.10).
 - 21) 高正博, “通信における符号化,” テレビジョン学会誌 40 (8), 709-711 (1986).
 - 22) 三浦種敏, 聴覚と音声, 電子情報通信学会編 (電子情報通信学会, 東京, 1987).
 - 23) 小野伸治, 岡村敏光, 二階堂誠也, “ステレオ放送用デジタル伝送方式,” 信学会誌 61, 1084-1090 (1978).
 - 24) 吉田登美男, 岩崎俊一, 永井健三, “立体音の本質は何か? 高級品質の因子分析,” 音響学会誌 16, 249-257 (1960).
 - 25) 島田正治, 鈴木純司, “多対地音声会議通信システムの対地識別音像生成方式,” 信学会誌 J70-B, 1017-1023 (1987).
 - 26) 安倍正人, 野戸広之, 城戸健一, “多数マイクロホンによる音源位置推定の一方法,” 信学技法 EA82-29 (1982).
 - 27) 永田仁央, 安倍正人, 城戸健一, “多数マイクロホンによる音源位置の推定,” 音響学会誌 46, 531-540 (1990).
 - 28) B.S.Atal and M.R.Schroeder, “Apparent sound source translator,” U.S.patent 3, 236, 949, (1966.2.22).
 - 29) 浜田晴夫, P.A.Nelson, S.J.Elliott, “マルチチャンネル適応制御アルゴリズムとその音場再生システムへの応用,” 音講論集 2-7-10, 431-432 (1990.3).
-