

戦略的創造研究推進事業 CREST

研究領域「情報社会を支える新しい高性能情報処理技術」

研究課題「フルーエンシ情報理論にもとづく
マルチメディアコンテンツ記述形式」

研究終了報告書

研究期間 平成 14 年 11 月～平成 20 年 3 月

研究代表者：寅 市 和 男

国立大学法人筑波大学
先端学際領域研究センター
特任教授

1 研究実施の概要

(1) 研究の背景

情報処理と通信の技術的進歩により、従来の有線環境に加え、無線・移動型端末でも多種・多様なサービスが利用出来る時代を迎えた。情報の多元的活用は、社会、経済活動での利便性を向上させたが、その一方で、メディア情報の無秩序な表現形式が情報処理の混乱を招き、情報の大洪水化による通信ネックをも招来させている。

われわれは、このような情報社会の問題をインターネット揺籃期から察知し、マルチメディア情報の共通記述形式による情報処理システムの確立が、時代の要請となることを予測、主張してきた。

(2) 研究の構想

1980 年までに体系化したフルーエンシ情報理論は、システム理論の世界的権威であるカルマン教授の言葉を借りれば、「Shannon の理論に代わる新サンプリング理論で、実世界のアナログ情報とコンピュータでのデジタル情報とを柔軟且つ適応的に結ぶ理論」である。この理論は、マルチメディア情報処理におけるアナログ信号とデジタル信号との相互変換の核技術として位置付けられ、その適用によって各種マルチメディアが共通に記述表現可能となり、各種コンテンツの編集・配信・提示・検索を容易に行う。

当プロジェクトにおいては、図 1 に示すように、フルーエンシ情報理論と応用技術を深化させることにより、音から印刷・静止画、映像・動画までのマルチメディア情報を統一的に表現する共通記述形式の確立を目標としてきた。そして、従来技術の欠陥を払拭し新たな世界標準となる革命的技法として、共通記述形式に基づくマルチメディア情報の編



図 1 本プロジェクトにおける研究の狙い

集・配信・提示・検索手法の開発を行うこととした。

この研究構想に対して、図 2 に示すように、理論から応用までの一貫した研究戦略を確立し、理論研究と応用研究を密接に連携させ、理論の深化、基本技術の確立、実用技術の開発、実証システムによる検証を進めた。同時に、有効な技術の特許化及び事業化戦略を

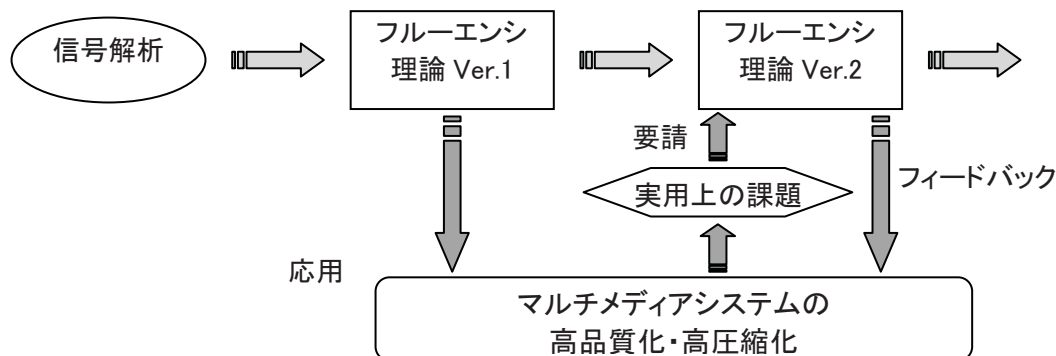


図 2 研究における理論と応用の連携推進体制

図りながらデファクトスタンダード化戦略を推進した。

当プロジェクト開始時には、信号解析を原点とするフルーエンシ理論 Ver.1 のマルチメディアへの応用展開にあたって、図 3 に示すように、信号空間を 1 変数、2 変数、3 変数に分類し、さらに各信号空間において情報表現の特徴によって区分したマルチメディアの対象に応じて適応的に函数を選択して、信号記述形式の共通化を進めた。実際の応用展開の過程において、不均等標本に対する処理や特性可変な函数形成などの課題が明らかになった。それらの課題に対応すべく Ver.2 としての理論形成を行い、その結果を応用研究に反映して目標とする応用技術の開発を行う体制とした。

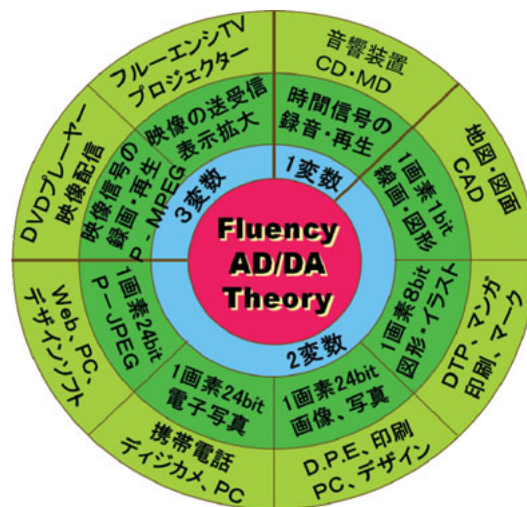


図 3 フルーエンシ信号変数空間の区分

具体的研究事項としては、フルーエンシ情報理論を用いることによって初めて各種マルチメディアが共通記述形式により表現できることを実証し、各種コンテンツの編集・配信・提示・検索が容易に行えるシステムの構築を行った。このシステムでは、図 4 に示すように、音声から印刷・静止画、映像・動画までの混在したメディアからコンテンツ及び領域が全自動で分類され、分類された領域ごとに、フルーエンシ AD/DA 函数を用いて、輪郭線函数化、濃淡函数化、周波数函数化が施され、高精細かつ高圧縮な符号化が可能となる。符号化された情報はフルーエンシ共通記述形式で表現されるため、少ないデータ量で高精細な提示が行えるだけでなく、編集・配信・検索も容易となる。この研究構想に基づき、マルチメディアの共通記述形式の確立とその実証システムの構築を行い、特許、事業化を含めた世界標準化戦略の下に革新的技術の開発に着手した。

(3) 研究の実施

フルーエンシ情報理論は図 5 に示すように、信号の特徴に応じて AD/DA 函数を適応的に

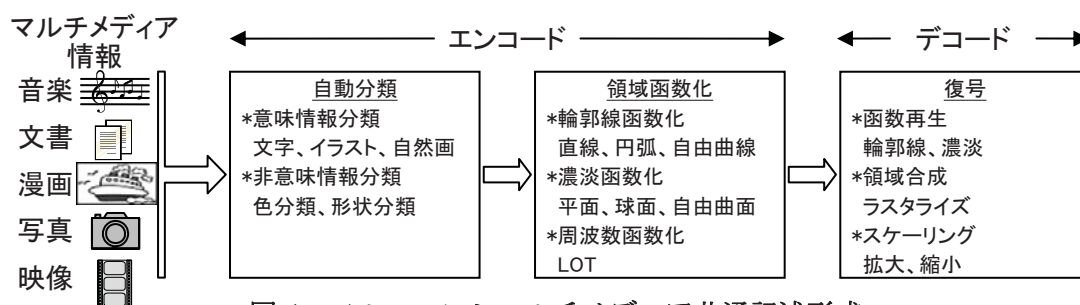


図 4 フルーエンシマルチメディア共通記述形式
(音響・画像・映像のマルチメディア情報をコンテンツや領域に自動分類し、領域毎の函数化で統一的に情報を記述する)

選択できる。この適応性に基づいて、信号種別によらない共通の記述が可能となった。従来手法では個々に表現されていた音、印刷・静止画、映像・動画のマルチメディアを共通記述することにより、これまで不可能であった高度な編集・配信・提示・検索が可能となった。従来手法に比して、データ容量が少なく且つ品質が向上していることを音響信号の再生処理、文字フォントや画像の函数化処理、テレビ信号の高精細化処理などで実証した。

また、図 5 の音響信号の例で明らかのように、CD に記録された同一のデジタル信号が DA 函数の違いにより異なるアナログ信号波形に変換される。従来手法による変換の基本となる Shannon 理論はフルーエンシ理論における $m=\infty$ に相当する。この理論をさらに深化さ

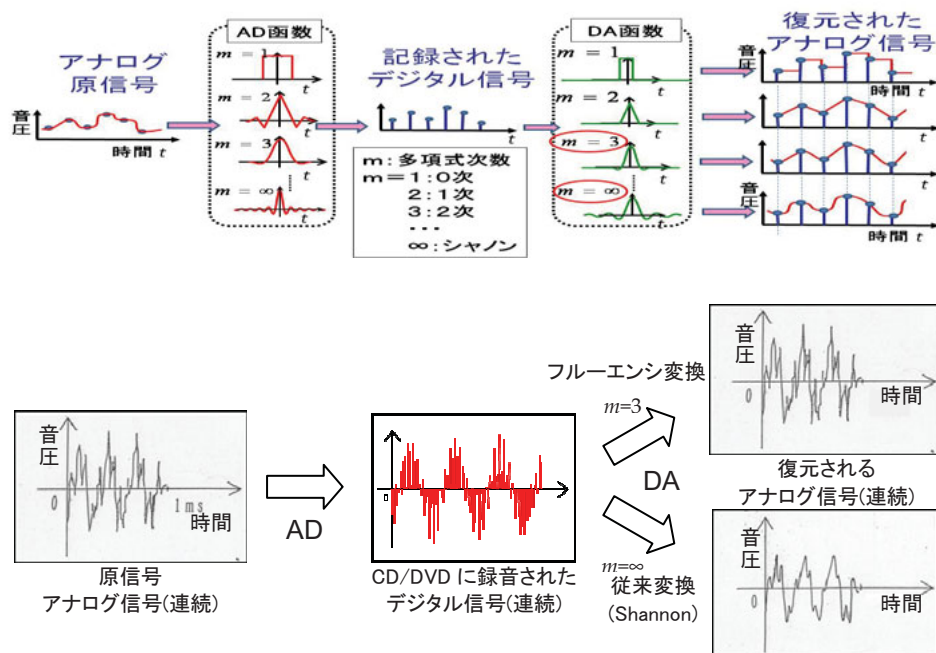


図5 フルエンシ AD/DA 函数と音響信号の変換対応例
(信号に適応した変換函数を選択し、AD/DA 変換を行う)

せ、超函数の導入により従来の正則信号空間の理論から非正則信号空間の理論に発展させ、区分多項式函数による不均等間隔変換函数、特性可変型変換函数、非分離型 2 変数変換函数等を導出した。これらの函数を信号の特徴に応じて適応的に選択することで、音・印刷・静止画・映像・動画情報を統一的に記述し、編集・配信・提示・検索が高品質、高圧縮、高速に処理可能な実証システムを構築した。

音、印刷・静止画、映像・動画のマルチメディア情報を統一的に扱えるフルエンシ函数記述形式は「次世代マルチメディアの記述形式」として多くの評価を受けている。音響においては、業界の標準技術となっている「フルエンシ DAC」に続き、テーラーメイドオーディオシステム、および Post-MP3 といった高音質再生・高圧縮符号化技術が実用化されつつある。印刷・静止画、映像・動画情報においても、高精細拡大・縮小技術が企業との共同研究で実用化されており、これらが製品化への広がりを見せ、トータルでは Post-MPEG としてのデファクトスタンダード技術確立することで印刷・静止画革命、映像・動画革命の実現への緒についた。

(4) 研究の成果: 社会的評価、受賞

i) 学術的成果

フルエンシ情報理論は、前述したように、学術的には「新サンプリング理論」として評価され、マルチメディア情報処理における基本技術として多くの成果を生み出した。

その代表的な学術的成果として、印刷分野において、「D.T.P.へのフルエンシ函数近似化手法」は印刷技術の革命をもたらす技術として、日本印刷学会論文賞、印刷朝陽会賞に賞せられた。

また、国際会議 CCCT2004 から「フルエンシ情報理論およびその応用システム」と題したシンポジウムを半日実施の要請があり、それを主催して発表・実演・展示を行い、国際的にも学術的貢献をおこなった。

ii) 社会的成果

フルエンシ技術の実用性と実績は、これまで受けた数々の栄誉により示されてきた。音響装置ではゴールデンサウンド賞他 43 の賞に輝き、フルエンシ DAC は既に世界標準技術となっている。この音響信号処理及びテレビ用信号処理技術は、新潟精密(株)で IC 化

され、さらにテレビ用信号処理技術については、(株)ルネサステクノロジが採用し高解像度変換処理 LSI として製品化して世界市場へ展開した。

このテレビ信号の高解像度化技術の一部が、防犯カメラ映像の解像度変換に有効なことから、警視庁を始め各都道府県警から画像解析依頼を受け、科学捜査に貢献した。この研究開発を行っていた当研究室の元助手が警視庁科学捜査研究所に異動し、この研究の成果により警視総監賞を受賞した。

さらに、画像処理におけるリサイズ技術は、モバイルマルチメディアコンテンツの処理において必須の技術である。フルーエンシ方式は従来技術に比べて精細さと処理時間で飛躍的に効果があることを KDDI(株)が評価し、この方式を自社ツールに組み込んだ。

展示会や講演会において、研究成果の積極的な広報を行い、フルーエンシ情報理論およびその応用技術が今後のマルチメディア事業において不可欠な技術として高く評価された。複数の企業からの共同研究の申し出等を受け、事業化の端緒が開かれてきた。特に、国際的にも 2004 年 3 月に米国サンアントニオ市で開催された「第 30 回記念 AUTM (Association of University Technology Managers) 2004」から日本を代表して招待を受けての展示・実演を伴う説明会は、日本の代表的技術として示され、数社の欧米企業から資金提供、買収が打診され(日本国民の税金で維持されている研究として、これらの申し出でを謝絶)、また主催者からは「Excellent」と評価された。

iii)受賞

上述したように、フルーエンシ技術は学会発表、論文投稿を通じて学術的進展に貢献すると共に、企業との共同研究および各種展示会や講演会を通じて、産業発展に貢献した。

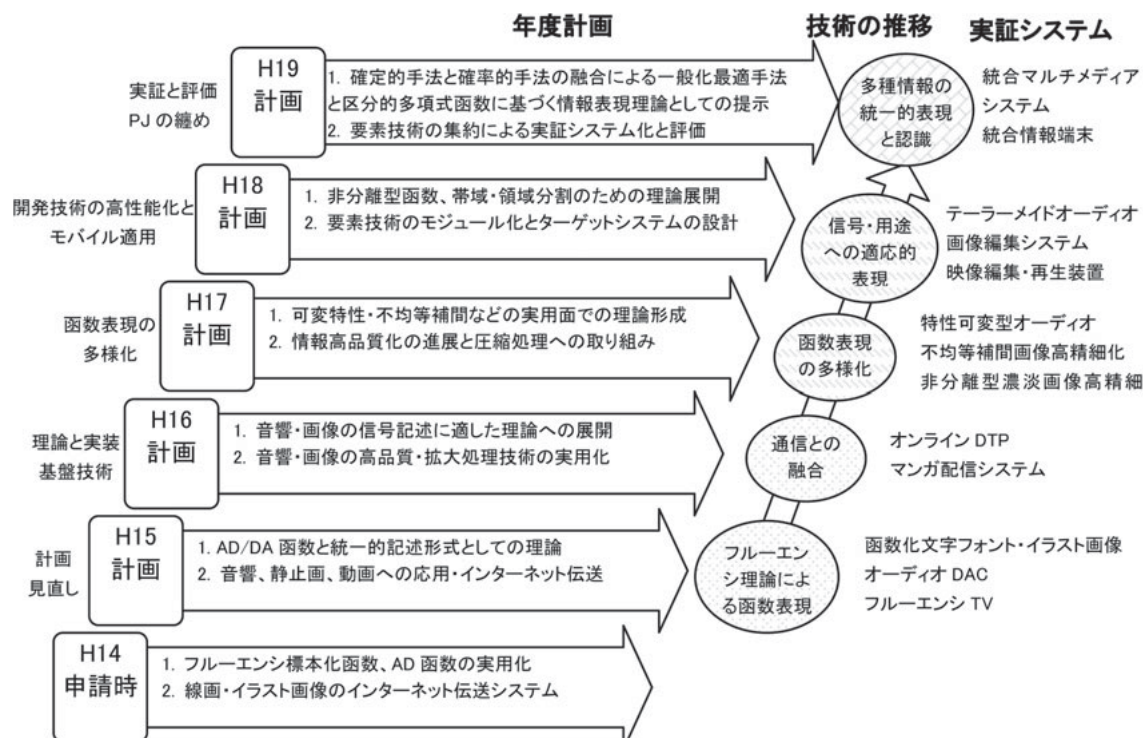
この基本技術の優秀さおよび製品を通じて技術の発展に貢献した実績が評価され、船井情報科学振興賞、井上春成賞の受賞につながった。

(1) 研究構想

H14 年の計画申請においては、フルーエンシ標本化函数の実用化と線画、イラスト画像への適用を主な課題としたが、申請時ヒアリングの結果、H15 年度計画においてフルーエンシ理論に基づくマルチメディア情報の統一的記述形式の確立を目標とし、音響、印刷・静止画、映像・動画への適用を図ることとした。H15 年度の研究成果はイラスト画像の拡大、フルーエンシ TV の高精細表示などに結びついた。

H17 年度においては、H15, 16 年度の研究で課題となった「不均等間隔情報の処理」、「特性の可変性」など函数表現の多様化を中心的検討事項として、理論と応用の両面から取り組んだ。「不均等間隔情報の処理」については、新たに不均等標本化函数(F-type)を導出し、防犯カメラ画像などの高解像度化において複数画像を用いて補間する技術として実用化した。音響信号処理においても Post-MP3 としての圧縮・再生処理における標本点削除・補間に有効であることを実証した。「特性の可変性」については、標本化函数を基本項と制御項に分離する方法(E-type)を見出し、音響信号再生の更なる高音質化をもたらした。また、映像・動画処理技術としては、Post-MPEG としての映像・動画情報圧縮・再生技術の検討を進め、その検証のためにシミュレータを製作した。

H18 年度は、画像処理において当初から課題であった「要素画像の自動分類」「エッジ付近の高精細補間技術」について、「セルオートマトンによる画像コンテンツ自動分類技術」



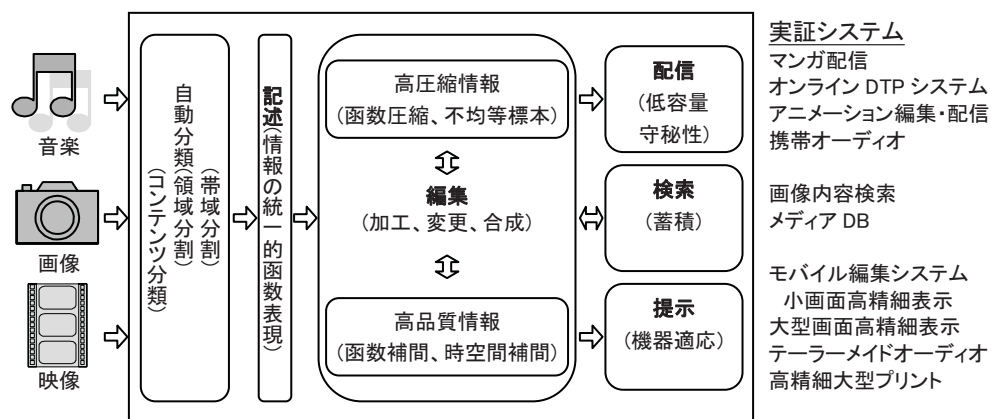


図7 マルチメディアシステムの基本構成

「2変数非分離型補間処理技術」の開発を行った。これらの開発技術はPhotoshopにプラグインソフトウェアとして組み込まれ、従来技術との比較検証が容易に行えるようになっている。また、音響信号の圧縮については、100帯域に分離するFIRフィルタの開発、各帯域での信号波形の函数近似について検討を進めた。さらに、音響、印刷・静止画、映像・動画における最終ターゲットとしてのシステム構築を検討し、最終年度に向けてのアプローチと実証システムを設計した。

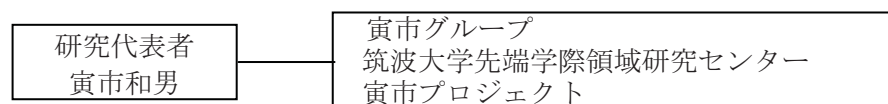
H19年度は、音響、印刷・静止画、映像・動画について、最終ターゲットシステム実現に向けてのモジュール開発、検証を行い、音響革命、印刷・静止画革命、映像・動画革命と評価されるシステム開発を推進した。また、理論・基本技術については、多種のマルチメディア情報に対応可能な、フルーエンシ情報理論に立脚した確定的アプローチによる統一的表現理論と、セルオートマトンや3次相関理論などに基づく確率的アプローチによる認識技術との融合により、一般的最適化手法へと展開した。

最終ターゲットとして完成されるフルーエンシマルチメディアシステムの基本的構成は図7に示すものとし、音響、印刷・静止画、映像・動画といった各分野のシステムの目的・用途に応じて構成・機能を適応的に切り替える。

このシステムを構築する基幹技術としての情報記述形式は、区分的多項式函数による直線、円弧、自由曲線、平面、球面、自由曲面の函数で表現される。自由曲線、自由曲面はフルーエンシ標本化函数である等間隔標本化函数(C-type)、不均等標本化函数(F-type)、特性可変標本化函数(E-type)などから適応的に選択される。また、函数近似の前処理としての自動分類は、セマンティクスに基づくコンテンツの分類、画像のノンセマンティクスな要素領域分割、音響におけるフィルタバンクや画像におけるLOTといった帯域分類があり、セルオートマトンを適用した確率的認識処理、フルーエンシ標本化函数をベースにするFIRフィルタなどの技術によって実現した。

以上、当プロジェクトの研究経緯について要約したが、各研究開発技術及び実証システムの詳細については後述する。

(2)実施体制



フルーエンシ情報理論とマルチメディア記述形式を担当

研究推進においては、プロジェクトリーダーの研究室でCREST研究員を中心に各人の専門を活かした研究が推進でき、理論から実証システムまでの一貫した研究開発が可能であ

った。兎角、サブグループを構成すると相互の連絡が充分に取れなくなり、期待される成果が挙げられなくなることを当初より考慮し、当該プロジェクトにはサブグループを設けなかった。

3 研究実施内容及び成果

3.1 フルーエンシ情報理論とマルチメディア記述形式(筑波大学寅市グループ)

(1)研究実施内容及び成果

I 研究の基本構成

当プロジェクトは、フルーエンシ情報理論に基づくマルチメディア情報の共通記述形式を基幹技術として音響、印刷・静止画、映像・動画における情報の高圧縮・高品質な符号化・復号処理技術を確立し、マルチメディアの編集・配信・提示・検索を行うシステムを構築することを主旨とした。

これらマルチメディア情報は本来アナログ信号であり、人間の感覚器が感じ取ることができる各種の感覚情報もまたアナログである。一方で、急速な発達を遂げ現代の情報処理における主役的存在に躍り出た電子式コンピュータは、その動作原理上デジタル信号のみを扱う。従って、コンピュータでマルチメディア情報を処理し、その結果を人間の役に立たせるためには、アナログ信号とデジタル信号との間で情報を相互に変換する必要がある。

図8は、各種マルチメディアにおいて、それぞれで扱われるべきアナログ信号の種類に基づく相互関係を示す。音、印刷・静止画、映像・動画(さらには、将来実現すると見込まれる立体映像)は、それぞれで必要とされる変数の数の違いという観点で分類される。多変数のシステムとそれより少ない変数のシステムとの関係については、時間軸上のシステムはその内部で因果関係を持ち、過去は未来に影響を及ぼすがその逆はないという点で、空間軸上のシステムとは異なる性質を持つ。そのため、2変数の印刷・静止画システムと1変数の音響システムは本質的に異なる性質を持っている。

後で詳述するように、フルーエンシ情報理論は、アナログ信号とデジタル信号との相互変換に用いる函数系を適応的に選択することで、種々のアナログ信号を従来の Shannon 理論よりも高精度に記述できる。フルーエンシ理論に基づくマルチメディアシステムにおいては、メディアの種類や同一メディア内におけるコンテンツの種類、さらにはそのコンテンツ内の部分的な領域など、記述される対象に応じた適応的な函数表現が重要である。フルーエンシマルチメディアシステムでは、この適応的な函数表現を基本技術として、各種マルチメディア情報を統一的に扱うことのできる共通記述形式の確立を可能にした。

フルーエンシ理論によって完成されるマルチメディア統一記述システムは図9に示すよ



図8 記述変数の観点に基づく各種マルチメディアの相互関係

うな構造を持つ。その中では、記述対象の分類をいかに行うかがシステムにとっての生命線となる。

この分類を適切に行うために、自動分類技術の研究を進めた。自動分類は、その分類のアプローチの階層にはいくつかのレベルが考えられる。そのレベルとして、記述する対象が何であるかをセマンティクスに基づいて識別するパターン認識やコンテンツ分類、画像をノンセマンティクスな信号の性質で分類する要素領域分割、さらに音響におけるフィルタバンクや画像における LOT といった周波数函数化のための帯域分類などがある。これらを実現するために、セルオートマトンなどの確率的アプローチをフルーエンシ理論に取り入れてきた。以下、理論、音響、印刷・静止画、映像・動画の各マルチメディア分野について詳細を述べる。

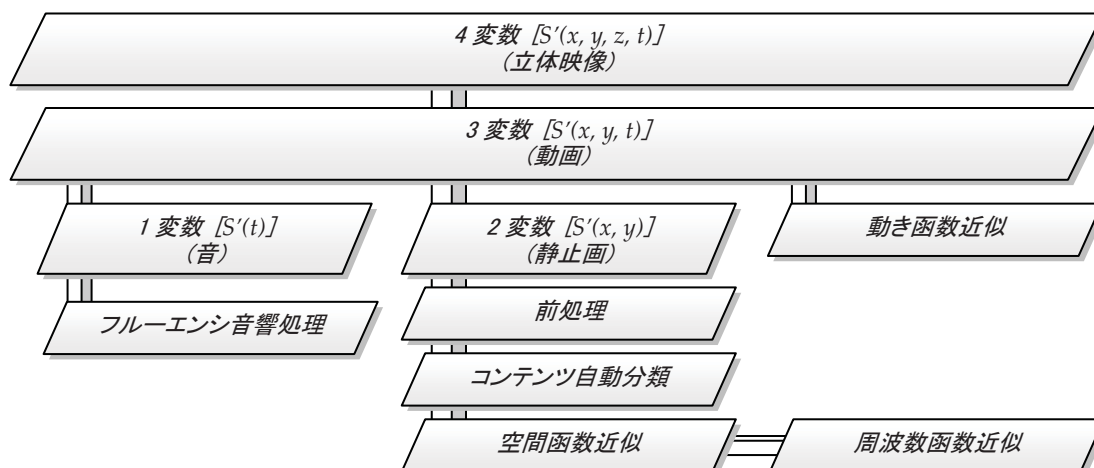


図9 フルーエンシマルチメディアシステムの全体像

II 理論および基本技術

理論研究では、デファクトスタンダードとなりうる高精細あるいは高圧縮な共通記述形式によるマルチメディア実システムを構築するために、Post-Shannon となる AD/DA 変換の枠組みを構築した。

II-i フルーエンシ情報理論とその深化

フルーエンシ情報理論は、アナログ信号とデジタル信号の対応を与える AD/DA 変換理論の中でも「函数近似」を基本コンセプトとし、より適切な函数近似のためにアナログ・デジタル対応の柔軟性を提供するものである。

これまで Ver.1 の理論として、B-スプライン函数に基づく AD/DA 変換の研究を行い、その信号処理方式が文字フォントやフルーエンシオーディオ機器に採用・製品化される等、一つの成果として成熟してきた。

理論 Ver.1 の重要な要素として、フルーエンシ C-type 標本化函数の考案があった。この函数は図 10 のような要請から構築された区分的多項式である。それ以前は、初期フルーエンシオーディオを含む様々な応用において、B-スプライン函数が適当なシフト線形結合により補間函数化されて DA 変換に用いられることが多かった。このようにして得られた標本化函数は無限サポートを持つという難点があり、応用においては有限打ち切り誤差について考慮する必要があった。この問題に対処するために導出された C-type 函数は、画期的な有限サポート区分的多項式であった。そして C-type 函数は、音響ではフルーエンシオーディオの DA 函数として用いられ超音波成分の生成へ、また映像・動画ではフルーエンシ TV システムの画像高精細化へ適用される等、広くマルチメディアシステムにおいてその特質の有効性が示されてきた。

<条件 1> 補間問題として「より短く、より滑らかに」離散点を繋ぐ
 アナログ信号 $x(t)$ に対し $t - x^{(m-1)}(t)$ 平面の 2 点間を結ぶ曲線を最短にする:

$$\text{汎関数 } J_m = \int_k^{k+1} \sqrt{1 + [x^{(m-1)}(t)]^2} dt \rightarrow \min$$

<条件 2>

(2a) 振幅特性...主項と副項からなり、主項は振動が $\pm 2\text{dB}$ 以内の平坦さ

(2b) 位相特性...直線位相

<条件 3> 高速たたみこみ算法可能...前後 2 点の局所台

⇒C-type 標本化函数

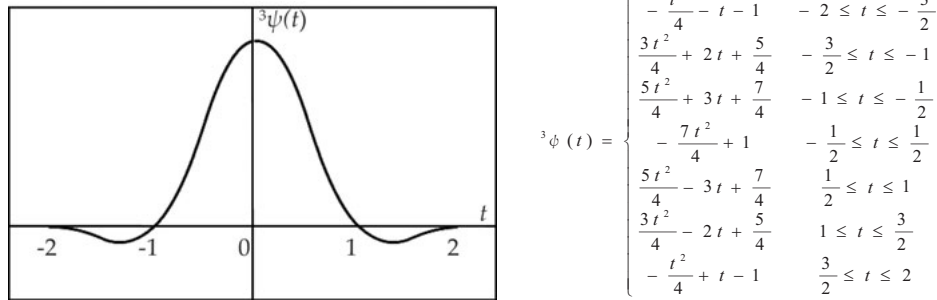


図 10 C-type 函数導出における要請

しかし実際に理論 Ver.1 をさらに高度なシステムへ運用していく中で、実用上の様々な課題が浮かび上がってきた。それは、信号の時間的あるいは空間的性質の変化に応じ、その函数近似アルゴリズムを変化させることへの要請である。そこでこのような要請に応えるために、このアルゴリズム空間を記述するパラメータを規定し、パラメトリックにアルゴリズムを変化させる枠組みを考案した。この意味で Ver.1 は時不変信号に対する固定パラメータの函数近似アルゴリズムの枠組みであり、Ver.2 は時変(空変)信号に対する可変パラメータの枠組みである。

理論 Ver.2 でのパラメータとしては、区分的多項式次数、節点および標本点間隔、次元数、補間函数主要項・制御項相対比などがある。これらのパラメータにより、幾つかの意味でアルゴリズムを適応的に変化させることができる。例えば、主要項・制御項相対比の可変

	フルーエンシ理論		適用先
	Ver.1 パラメータ固定	Ver.2 パラメータ可変	
対象とする空間 [多項式次数: $1 \leq m \leq \infty$]	B-Spline 函数 から生成される 区分的多項式 信号空間	一般の 区分的多項式 信号空間	理論 ・ D^N クラスでの信号表現 音響 ・フルーエンシ DAC フィルタバンク 静止画 ・DTP Ver.2 (漫画配信) 動画 ・疑似 HDTV
変数	1 変数	1 変数/多変数	静止画 ・DTP Ver.4 (Adobe Plugin) 動画 ・LOT 圧縮 ・モバイル編集システム
標本点間隔 $h\tau$	均等($h=1$)	不均等($h \geq 0$)	音響 ・高音質圧縮音楽 動画 ・映像シミュレータ ・防犯映像システム
節点間隔 $k\tau$	固定($k=1$ or $1/2$)	可変($k \geq 0$)	・複数フレーム補間・対応点推定・高フレームレート化 音響 ・フルーエンシカーオーディオ ・音響シミュレータ
補間函数の 波形調整	不可	パラメータに より可能	

図 11 理論の枠組み

な補間函数(**E-type** 函数と呼ぶ)により、時間・空間位置毎に最適な波形での信号再生が可能となった。また、標本点・節点間隔の可変な補間函数(不均等補間函数 — **F-type** 函数と呼ぶ)により、位置毎に最適配置された標本点・節点間隔による信号再生が可能となった。あるいは、2変数非分離型補間函数により、従来の直積型による逐次的1次元補間とは本質的に異なり、標本点の2次元的近傍を考慮した信号再生が可能となった。これらの**Ver.2**での成果は各分野で補間方式モジュールとして応用され実証システムへと結実した。

Ver.1での**C-type**函数に相当する、**Ver.2**での重要な補間形式はフルーエンシ**E-type**函数によるものである。**E-type**函数は、**C-type**函数の特長(局所サポート、高周波数成分生成、周波数特性メインローブ平坦さ等)を踏襲しながら、なおかつ時变的信号に対し適応的に最適な波形追従をするという要請に基づいて考案された区分的多項式標本化函数である。その式は $\phi_a(t)=f(t)+\alpha \cdot c_0(t)$ という形で与えられる。ただし、 $f(t)$, $c_0(t)$ はそれぞれ主項、制御項と呼ばれる函数成分であり、主項と制御項の成分比 $\alpha \in R$ は補間函数波形調整のパラメータである。この**E-type**函数は、ある特別なパラメータでは**C-type**函数に一致することから、**C-type**函数を一般化したものとなっている。図12は**E-type**函数とそのパラメータを変化させたときの波形を示す。

この**E-type**函数は、音響信号高圧縮化における函数近似や、映像・動画高精細化におけ

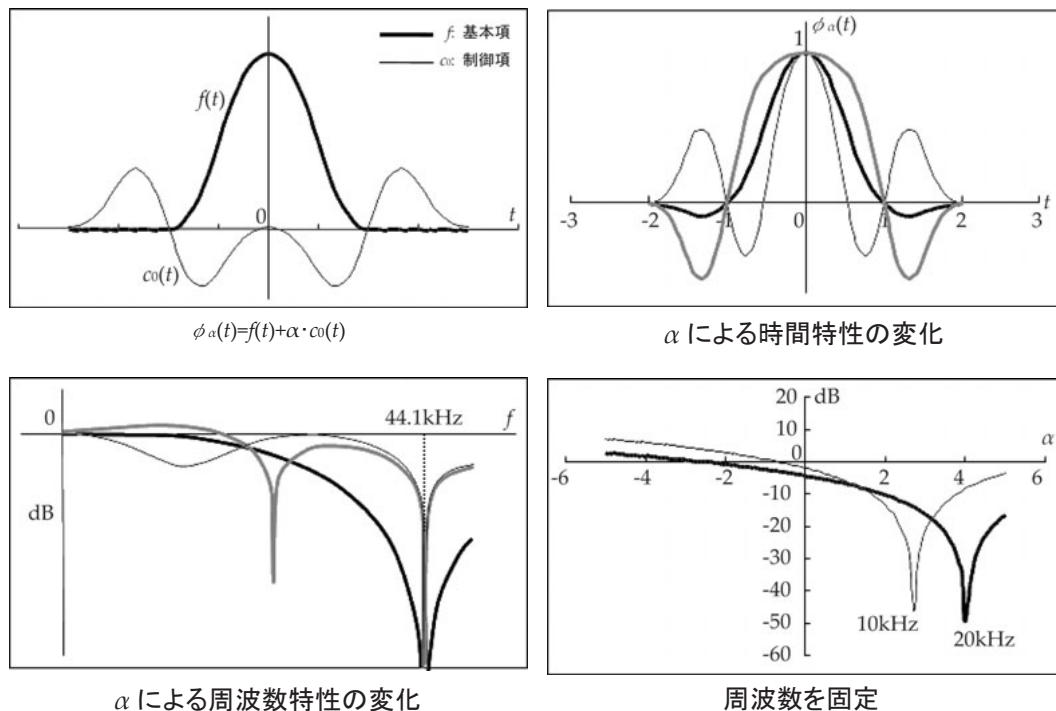


図 12 **E-type** 函数

る複数フレーム補間等、様々な応用がなされている。また、**F-type** 函数のバリエーションとなる函数も得られており、今後実用技術からの要請に応じてのさらなる発展が期待されるものとなった。

さて、フルーエンシ理論を **Post-Shannon** の **AD/DA** 変換理論として確立するにあたっての基本方針は、時変・空変系に対する適応的函数近似システムの理論 **Ver.2** による構築である。そのために二つの方向性における定式化を考察してきた。これらはいずれも適応化した信号を表現するための信号空間の拡張に関わるものであり、一つは情報メディア超函数による信号空間の L^2 からの拡張で、もう一つは確定的・確率的システムの融合による信号空間の確率空間への拡張である。

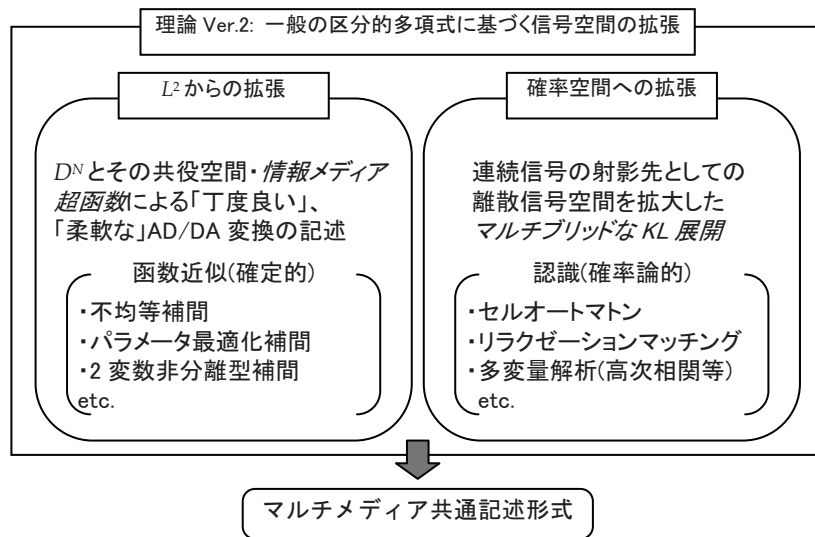


図 13 理論 Ver.2 拡張における二つの方向性

II-ii 情報メディア超函数による信号空間の拡張

$\sin$ 、 $\cos$ やベキ乗、 δ 函数のような L^2 でない函数に対しては Fourier 変換等の演算を通常の形では定義できないが、それらの函数を超函数と呼ばれる汎函数クラスの元と捉えることにより演算を行うことができる。従来よく知られている超函数論の枠組みは、Schwartz 超函数によるものである。Schwartz クラスは理想的に整備された函数空間として理論的には便利であるが、現実の信号空間としては定義の条件が持つ強過ぎる要請から利用しにくい。実際、Schwartz クラスの Fourier 変換は、音響における超音波や画像におけるエッジ等、高周波成分の信号を再生したい場面には適当でない。

このような Schwartz クラスの不利を解消した超函数信号空間として、我々は N 回のみ微分可能($N \in \mathbb{N}_0$)で N 次の多項式よりも減衰の速い函数クラスを提案した。Fourier 変換が帯域制限されることは、元の函数が C^∞ であることを意味するから、 C^N という条件により無限遠までの高周波数成分を持つことが保証される。その程度は函数によって異なるが、Fourier 変換高周波数成分の大局的減衰オーダーは共通に $-N$ 次である。この函数クラスを D^N と呼ぶ。 D^N は Banach 空間である。 D^N の中の典型的なサブクラスとして、区分的多項式からなる函数系がある。区分的多項式クラスは節点という特異点により、無限遠までの高周波数成分を節点の次数に応じて生成する。 D^N に対する超函数クラスは、 D^N の共役空間 $(D^N)'$ として定義される。 D^N 、 $(D^N)'$ と L^2 や S 、 S' 等の包含関係を図 14 に示す。 D^N は、 L^2 より狭いが S より広い空間であり ($S \subset D^N \subset L^2$)、しかも、それぞれの包含関係は各 N で dense である。これに対応して、 $(D^N)'$ は S' より狭いが L^2 より広い共役空間となる。 L^2 より広い $(D^N)'$ の元として $\sin$ 、 $\cos$ 、 δ 、ベキ乗等の函数を扱うことができ、 $(D^N)'$ は実用的な超函数を十分多く含んでいる。Schwartz 超函数論では共役空間は一般化され過ぎた超函数空間であったが、 D^N の共役空間はそれを制約できる。このように、 D^N および $(D^N)'$ は「丁度良い」「十分柔軟な」信号クラスとなった。

超函数信号空間の拡張: $D^N(S \subset D^N \subset L^2)$ での AD/DA 変換

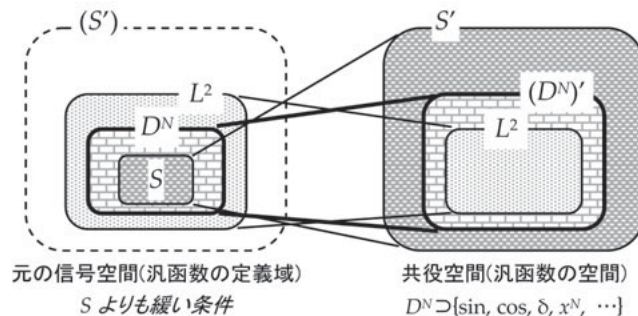


図 14 超函数信号空間の拡張

D^N における演算は、Schwartz 超関数における演算と同様に行うことができる。これらの間にある違いは、微分等の演算が無限回可能ではなく、 N 回までしかできないということである。実用的には、適当に十分大きな N を取って N 回までの微分を扱う信号空間を考えれば良いであろう。

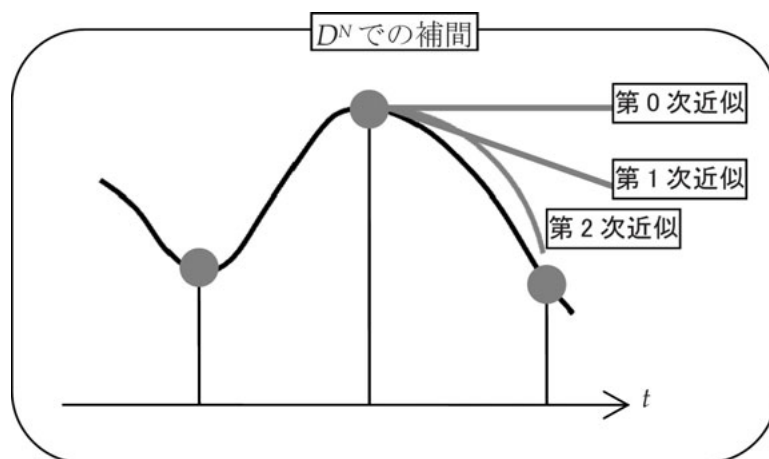


図 15 N 階導関数を考慮した補間

この D^N により N 回の導関数まで考慮した補間

間を定式化することができた。 C^N の関数 $g(t)$ が N 次までの Taylor 展開を持つことを考えれば、 $g(t)$ のサンプル値 $g(k)$ のみでなく導関数 $g^{(n)}(t)$ ($n=0, 1, \dots, N$) のサンプル値 $g^{(n)}(k)$ の情報を用いればより精确な信号復元ができることは容易に分かる。ただし、単純に $\{g(k)\}, \{g^{(1)}(k)\}, \dots, \{g^{(N)}(k)\}$ 全てを用いればサンプル値データ量が $(N+1)$ 倍になってしまうことから、与えられるデータをより少なくして(例えば $\{g^{(N)}(k)\}$ のみ)信号復元の精度を維持する条件を見つけだすことが課題であった。信号復元精度の評価基準としては、素朴に $\{g(k)\}$ のみを与えて信号を復元する場合と比較した誤差の量、および、より細かいサンプリング間隔のデータから信号を復元する場合と比較した効率(データ量当たりの SN 比など)といった指標が用いられる。

このような N 回の導関数まで考慮した補間の定式化は、信号の滑らかさクラスに依存している。以下では、特定の滑らかさを持つ信号空間で適切な AD/DA 変換を定式化するため

離散・連続媒介空間における Fourier 変換の一意性の問題

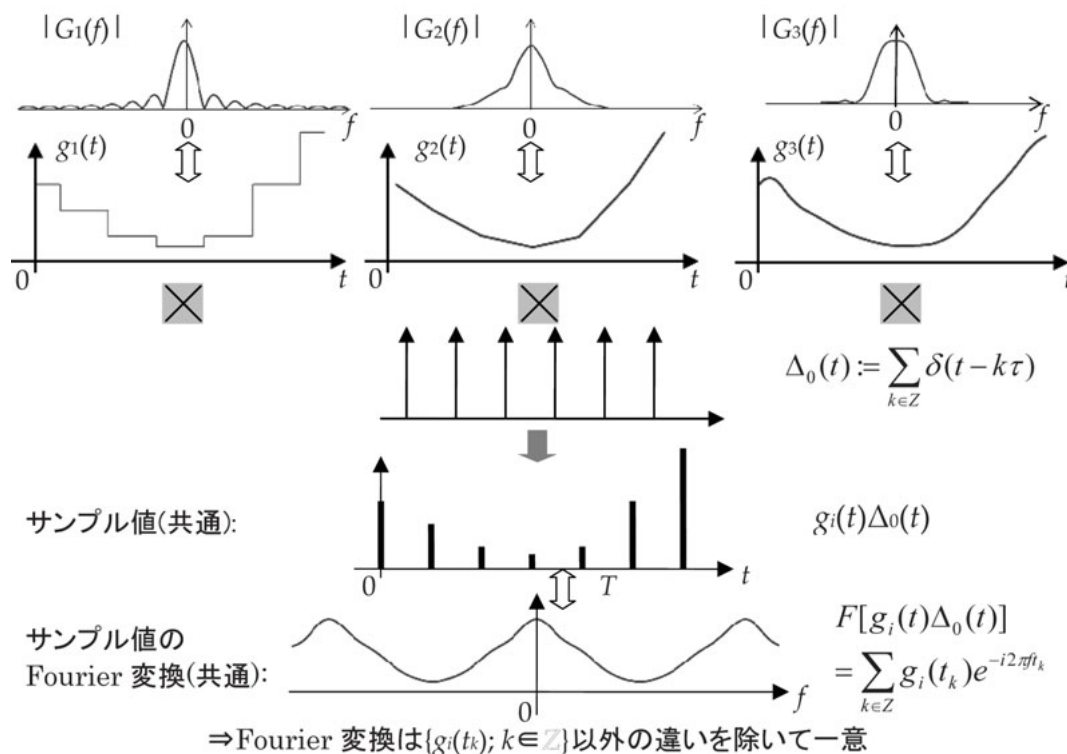


図 16 同一サンプル値を持つ関数の Fourier 変換一意性の Δ_0 による記述

の基礎となる、 δ 関数と信号空間類別に関わる事項について述べる。図 16 は、サンプル点で同じ値を持つ三つの函数 $g_1(t)$, $g_2(t)$, $g_3(t)$ に AD 変換を表す超函数 $\Delta_0(t) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} \delta(t-k)$ を掛

けて得られるサンプル値(を表現する超函数) $\Delta_0(t)g_i(t)$ の Fourier 変換を表している。 $i=1, 2, 3$ それぞれにおける Fourier 変換は、ともに $\sum_{k \in \mathbb{Z}} g_i(t_k) e^{-i2\pi f t_k}$ と共通になる。 C^N の函数の

Taylor 展開において剰余項を除けば、サンプル値が共通である $g_1(t)$, $g_2(t)$, $g_3(t)$ の間にある違いは Taylor 展開 1 次以上の項の係数、つまり導函数サンプル値の違いである。即ちこの共通性は、これらの函数をサンプル値から特定するためには、導函数サンプル値が必要であることを意味する。あるいは逆に、信号空間が B-スプラインによるものやフルーエンシ C-type 函数によるものであるなどの仮定がされている場合には、共通の情報である $\Delta_0(t)g_i(t)$ から i のタグなどのみによって一つの g_i を特定できることを意味する。これらの意味合いは、単独では当り前の話でしかないが、前述のように $\{g^{(n)}(k)\}$ のみを与えた場合の DA 変換におけるパフォーマンスの評価と関連させることで、原信号に B-スプライン信号成分あるいはフルーエンシ C-type 函数成分がある程度以上含まれている場合には、効率的な函数近似の第一歩となり得るであろう。

II-iii 確定的システムと確率的システムの融合

与えられた離散あるいは連続信号に対して信号の性質の変化に対応した適応的な信号表現を行うには、性質の異なる複数の信号空間からより適切な信号空間を選択することが必要である。シンプルな例として、標本点や用いる基底函数等が与えられている場合には、原信号と再生信号の誤差を最小化する展開係数を正規方程式として定式化し、これを最小二乗法により解けばよい。基底の双直交基底が分かっている場合には、双直交基底と信号の内積が展開係数となる。

これらの例に対し、与えられた離散信号のみに基づいて、標本点・基底函数系を適応的に選んで元の連続信号を最良近似することを考察した。このような時変の函数近似システムを実現するために、前段としてリラクゼーションマッチング等のパターン認識技術により適切な信号空間を適応的に選択し、後段として最小二乗法等による確定的な函数近似を行うといった、確率のおよび確定的な函数近似の融合を提案した。前段では、 $\{\sin, \cos\}$, $\{\text{B-スプライン}\}$, $\{\text{直交多項式}\}$, *etc.*等の単一函数系だけでなく、函数系の横断的な選択(一般に正規直交系でない)を行い、それらの組合せからなる線形空間への射影をとる。これを実現するために解決する必要がある課題の一つはこの射影の定式化で、リラクゼーションマッチング、動的最適化、セルオートマトン、多変量解析、大数の法則等による「確率的な観測」=平均的挙動の抽出を行う。ここで、これらの函数系は、いずれも区分的多項式で与えられるものとする。

このような考え方に基づく函数近似の具体的な一手法として、KL 展開が知られている。これはデータの共分散(再生核)を固有展開することで連続 $\leftrightarrow$ 離散対応の同型を与えるもの

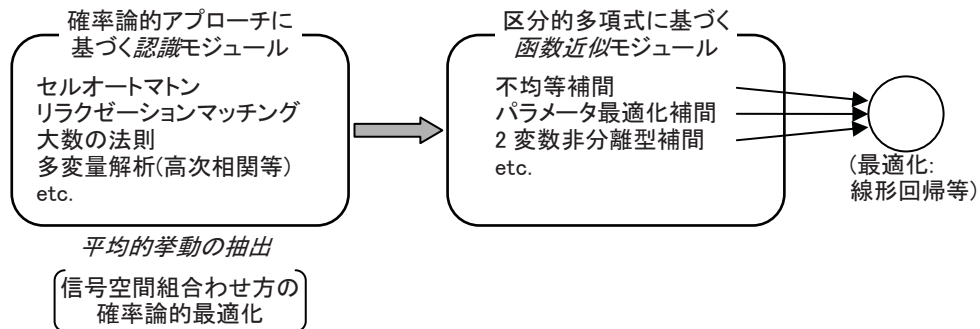


図 17 確率論的・確定的アプローチの融合

である。KL 展開は固有展開により最大固有値から定められた有限次数での最良函数近似を与えることができる反面、射影先の空間が狭すぎることがあるというデメリットがある。当プロジェクトは特に KL 展開について、複数の共分散によるマルチブリッドな KL 展開への拡張を考察した。局所的な信号ブロックから逐次的に得られる共分散は、局所的な情報をより反映した KL 展開を可能とするため、拡張で有効に利用される。

II-iv 適応的函数近似のための自動分類技術

前節で説明したように、処理の対象となる各種マルチメディア情報を、それぞれの性質に応じて適切な函数系を選択するために、当プロジェクトでは確率論的アプローチを中心に自動分類技術を研究した。前述のように自動分類には図 18 に示すようないくつかの段階がある。最上位に位置するのは、対象をそのセマンティクスに基づいて特定する認識である。その下のレベルとして、対象をセマンティクスの近いもの同士でグループ化して分類する類別、さらにその下には、最も基本的であり、ノンセマンティクスな分類である領域分割といったレベルが存在する。また、分割された領域に対して、周波数函数化を行う場合には、帯域分類といったサブクラスも検討される。

当プロジェクトにおける自動分類技術の成果として、印刷・静止画の処理においてはコンテンツの自動分類モジュールを開発し、処理対象となる画像からセマンティクスに基づいてモノクロ・ハーフカラーの文字・イラストとフルカラーの自然画とを分類することが可能となった。また、抽出された文字・イラスト、あるいはアニメーション映像の各フレームに対しては、ノンセマンティクス的な領域分割を行い、各領域を区分的多項式に基づく函数で表現するモジュールを開発した。また、音響信号処理においては、周波数成分を分割することによって帯域ごとに適切な函数化を行うための FIR フィルタバンクをフルエンシ標本化函数に基づいて構成し、映像・動画処理においては $m=1$ クラスのフルエンシ函数に基づいた記述方式である LOT モジュールを構築するなど、周波数領域における帯域分割モジュールも開発を進めた。

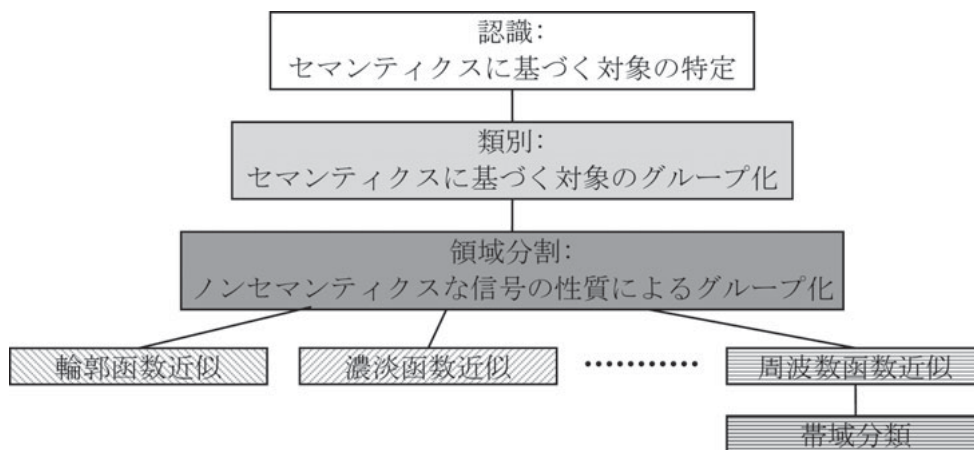


図 18 自動分類のレベル

III 音響研究

音響研究では、テーラーメイドオーディオ実現のために必要な可変特性標本化函数の音響シミュレータによる実証を行った。また、Post-MP3 としての音響信号高圧縮符号化システムを従来 MP3 に匹敵する性能とし、MP3 を超えるための基礎が確立された。

III-i フルーエンシオーディオロジへの取り組み

(1) フルーエンシオーディオロジ研究の経緯

一般に CD などに代表される従来の音響信号処理技術の多くは、20kHz 以上の高周波数

成分、いわゆる超音波成分を削除しているが、それらの技術に対しては、その音質に関する不十分さがしばしば議論されるところである。従来技術が超音波成分を無視するのは、超音波は人間の聴覚では聞こえないという理由に基づいている。しかしながら、超音波成分は鼓膜ビートの非線形効果によって人間の聴覚に影響を与えているという知見があり、超音波成分の有無は再生される音響信号の音質に影響を与えるという考え方が優勢である。当プロジェクトでは、音響信号再生における超音波成分の有無が聴く人間に与える影響を重視し、従来の CD からの超音波成分再生を可能とする工学的手法の開発が重要であると考えてきた。

(2)フルーエンシオーディオロジー

当プロジェクトの音響システム分野に関する研究は、フルーエンシオーディオロジーと称して音響工学・音響心理学・音響生理学といった三つの側面に基づいて進められた。そして、これらの分野の成果を一つに集約することによって、人間の聴覚特性に適した工学的な音響信号処理技術の実用化、およびカクテルパーティ効果など人間における聴覚高次機能の解明を長期的な目標とした。

当プロジェクトにおいては、特に超音波成分を考慮した音響信号処理技術という工学的側面からの研究・開発に重点を置いた。また、その有効性を評価するために、超音波成分を含む音楽を聴いた人間が感じる主観的評価といった心理学的側面や、超音波成分に対する中枢神経系の応答といった生理学的側面からの研究を進めた。これらの知見は、ローエンドからハイエンドまでを統一的に扱い、かつ人間の知覚特性に適した高音質再生・高圧縮符号化を実現する音響システムの開発に反映された。

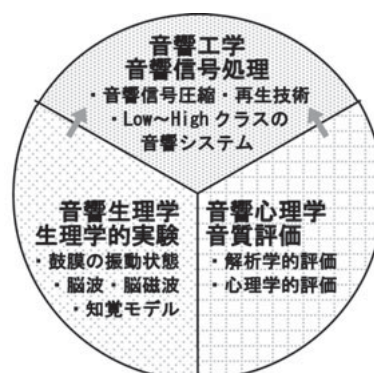


図 19 フルーエンシオーディオロジーの研究分野

III-ii テーラーメイドオーディオ

(1)テーラーメイドオーディオの提案

前述のとおり、当プロジェクトでは、CD など従来のオーディオシステムで軽視されてきた超音波成分が、音響信号再生において音質に与える影響を重視し、従来手法の CD 再生では失われる超音波成分をフルーエンシ理論に基づいて再現することによって再生音を原音に近づけるという方式で、音響信号再生の高音質化を図ってきた。この成果は 1988 年に発売された Luxman 社製 CD プレーヤ DA-07 で初めて製品化された。その後、フルーエンシ理論に基づく DA 変換を行うコンバータ(DAC)をワンチップ IC 化した製品が新潟精密(株)により生産されて各種のオーディオ装置に搭載されてきた。これらのフルーエンシオーディオ装置は計 52 のオーディオ業界賞を受賞するなど、デファクトスタンダードの地位を確立していると言える。

当プロジェクトでは、フルーエンシオーディオによる高音質再生から前進して、人間の感性に適するという観点で高音質化の概念を拡張し、テーラーメイドオーディオという最終目標を掲げた。このテーラーメイドオーディオとは、再生時の音響環境や個々人の聴覚特性に起因する主観的音質の違いを補正したり、聴取者の嗜好に合わせて音質を調整したりすることによって、聴取者にとって聴きやすく心地よい音響信号再生を実現するオーディオシステムのことである。

(2)FPGA を応用した音響シミュレータ

テーラーメイドオーディオを実現するには、各種の DA 変換アルゴリズムに対してその検証を行う必要がある。DA 変換に用いる標本化函数に基づくアナログ出力波形の周波数特性は理論的な予測も可能であるが、それがどのように主観的に知覚されるかを検証するには、最終的には実際に音として出力し試聴する必要がある。

人間の聴覚は敏感であるため音響信号の処理には高い精度が要求され、ハイエンドオー

デジオでは-100dB におよぶ SN 比が必要とされる。このような精度を実現するために、その検証にも高精度のハードウェアが要求される。また、多様な環境・聴覚特性に対応する

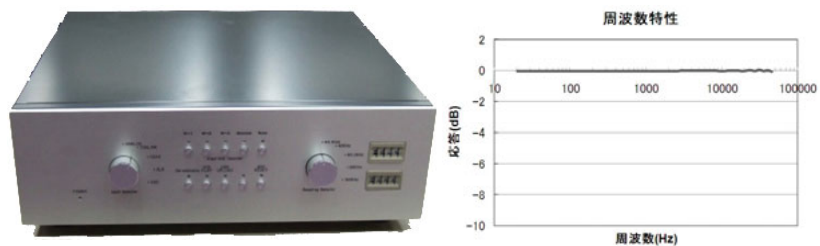


図 20 音響シミュレータとその周波数特性

には多種の変換アルゴリズム・標本化函数をテストする必要性が生じた。これらの要求を満たすために、処理アルゴリズムの書き換えが可能なハードウェアデバイスである FPGA を用いて、多様な DA 変換アルゴリズムの検証が可能な音響シミュレータを開発した(図 20)。FPGA のアルゴリズム記述には Verilog HDL を用いており、そのアルゴリズムは極めて簡単に IC 化が可能である。これによって、開発されたアルゴリズムの IC 化に必要とされる時間的・経済的なコストの大幅な節減が可能となった。

前述の通り、ハイエンドオーディオ装置には非常に高い SN 比とフラットな周波数特性が要求されるため、その挙動を模擬する音響シミュレータにもそれ以上の SN 比と周波数特性が必要となる。音響シミュレータがこれらの要求仕様を満たしていることを検証するために、ハイエンドオーディオの仕様検証に用いられる業界標準のオーディオアナライザ (Audio Precision SYS-2722) を使用して、音響シミュレータの性能を測定した。その結果、このシミュレータが高い SN 比と低周波数から高周波数までフラットな周波数特性を有していることが検証された。

(3)特性可変信号処理アルゴリズム

当プロジェクトでは、テーラーメイドオーディオに要求される多様な補間アルゴリズムを生成するために、フルエンシ理論に基づく特性可変信号処理アルゴリズムを開発した。これまでに製品化されてきたフルエンシオーディオ装置では、Shannon 理論に基づく DA 変換で出力される信号の周波数帯域において周波数特性をほぼ同一に保ちながら、それより高い周波数成分を出力する特定の標本化函数(C-type フルエンシ標本化函数)を利用して、DA 変換を行ってきた。それに対して、現在研究中の特性可変信号処理アルゴリズムに用いている標本化函数(E-type フルエンシ標本化函数)は、パラメータを導入してその特性を容易に変更できるものとした。

(4)結果の検証

前述の音響シミュレータを利用して、Shannon 理論に基づく DAC、フルエンシオーディオに用いられている C-type 函数ベースの DAC、および現在研究中の特性可変な E-type 函数において特定のパラメータを用いたインパルス応答をベースとする DAC を比較検証し

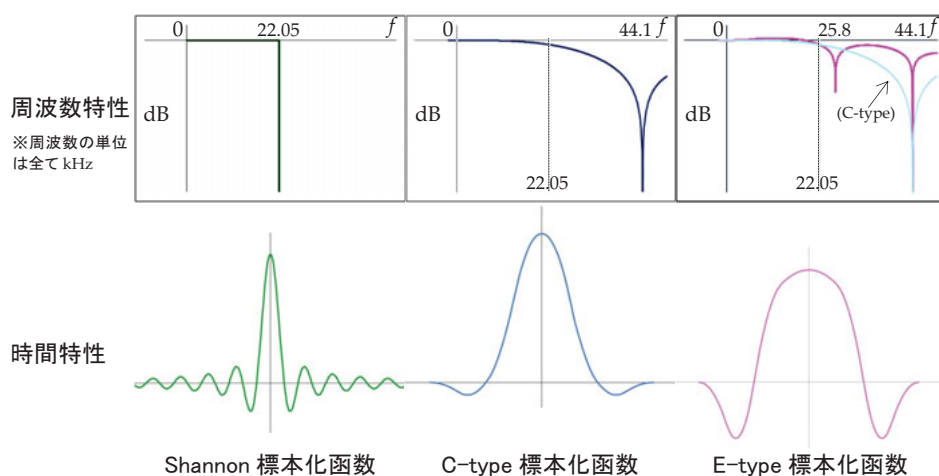


図 21 音響再生特性の比較

た。

それぞれの時間特性と周波数特性を図 21 に示す。ここに示される周波数特性は理論的な予測に基づくものであるが、これらのアルゴリズムは DAC の変換アルゴリズムとして実際に音響シミュレータに実装された。そして、シミュレータを利用した CD 再生の結果として、音響シミュレータの C-type 函数 DAC が従来のハイエンドフルーエンスオーディオと同等の音楽再生を行えること、また E-type 函数 DAC が C-type 函数 DAC よりさらに高周波数成分を引き出して高音域がよりクリアになることを確認できた。さらに、リアルタイムでパラメータを可変とする機構の追加によって、微小な特性の変化を実際に音として聴きながら確認することが可能となった。

このように、E-type 函数ベースの DAC が従来のフルーエンス DAC より高周波数領域をさらに引き出す能力が確認できたことで、E-type 函数 DAC はオーディオにおける高周波数成分再生への応用はもちろん、高周波数成分の聴取能力の衰えた高齢者向けの補聴器への応用も可能となった。

III-iii MP3 方式に代わる音響信号高圧縮符号化技術

(1)音響信号高圧縮符号化

音響信号処理研究におけるもう 1 つの目標として、近年急速に普及した携帯電話を代表とするモバイル環境を主な適用範囲とするローエンドオーディオ向けの技術研究がある。このような分野では相対的に音質への要求が低く、むしろ限られた資源において音楽再生を可能とするために記述データ量や計算量を削減するといった省資源化への要求が強く、その要求に応じて記述データ量の高圧縮化を目指した研究が進められた。

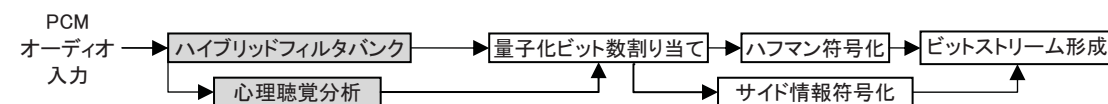
音響信号の高圧縮符号化においては、従来 MP3 方式が広く用いられているが、MP3 方式より優れた性能を持ち、高い圧縮率で CD 並の音質を実現する圧縮方式を Post-MP3 として開発し、モバイル用デジタルオーディオにおけるデファクトスタンダードとなりうる技術として確立することを高圧縮化研究の目標とした。

高圧縮化研究においては、図 22 に示すように、MP3 方式において Shannon 理論に基づく処理が行われているモジュールをフルーエンス理論に基づくモジュールに置き換えていくことで、まずは MP3 方式と同等性能の圧縮方式を完成させた。さらに各モジュールの性能を向上させることで MP3 方式を超える性能を持つ圧縮方式を開発した。そして、最終目標とした、CD の 1/4 の容量である 320kbps のビットレートで CD 並の音質を実現する圧縮方式の完成への目途をつけた。これらの実現のために、フルーエンス函数を用いた標本値の適応的間引き・補間モジュール、超音波の非線形的影響を考慮した心理聴覚モデルに基づく適応的量子化ビット割り当てモジュール、フルーエンス FIR フィルタをベースとするフィルタバンクにおける最適な帯域分割周波数の適応的自動決定モジュールといった、フルーエンス理論に立脚する各種モジュールの開発を進めた。

(2)フルーエンス FIR フィルタを用いたフィルタバンク

フルーエンス理論に基づく音響信号圧縮符号化においても、適切な函数を用いて適応的な波形の表現を行うためにフィルタバンクによる帯域分離を行う。この際、従来の FIR フィルタに基づくフィルタバンクの代わりにフルーエンス FIR フィルタをベースとしたフィ

MP3 のシグナルフロー(簡略版)



フルーエンス音響圧縮方式のシグナルフロー(簡略版)

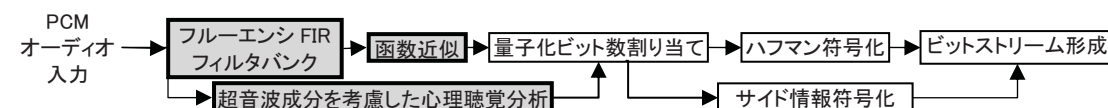


図 22 Post-MP3 システムの構成

ルタバンクを利用している。

このフィルタのベースに用いている C-type 標本化函数は有限台の函数であるため、従来の Shannon 理論をベースとするフィルタと比べると、本質的に必要とするタップ数が少ない。また、C-type 函数を元にした基本フィルタは最大平坦性を持っている。この C-type 函数からハイパスとローパスの基本フィルタを定義し、そのスケージングによって通過域・阻止域を調整したフィルタを縦続接続することによって、目的とする特性を持つ FIR フィルタの設計が可能になる。図 23 はフルーエンシ FIR フィルタで超狭帯域フィルタ

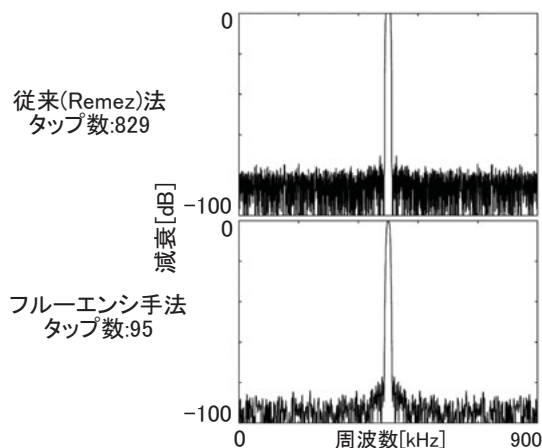


図 23 フルーエンシ FIR フィルタの例

を設計した一例を示す。この例では、従来の標準的なフィルタ設計法である Remez 法によって設計されたフィルタの 1/8 以下のタップ数でフィルタの構成を実現している。しかも、フルーエンシ FIR フィルタは、阻止域の減衰レベルにおいても Remez 法より優れている。

このように、フルーエンシ FIR フィルタは従来手法より非常に少ないタップ数で同等以上の性能を持つフィルタを実装することが可能なため、モバイル機器など資源の制約が大きい環境に適している。

(3) 函数近似処理

帯域分離された音響信号は、帯域毎に最適な函数を用いて近似する。この函数近似処理において、波形の性質に応じて、不均等標本化函数を適用することで、圧縮データに記録する必要がある標本点を削減できる。復号器では、圧縮符号にタグとして記録された不均等標本化函数による補間で、削減した標本点を再現する。

(4) 結果の検証

フルーエンシ理論に基づく前述のモジュールが組み込まれた音響信号圧縮符号化方式が MP3 方式とほぼ同等の性能を実現していることが確認された。その評価は、同圧縮率のデータから再現される音響信号の音質比較に基づいて行われた。MP3 方式は心理聴覚モデルによって積極的に帯域毎の成分削除を行うため、原波形の再現性能と主観的音質の高さが必ずしも一致するとは限らないが、指標の一つとして、圧縮前の波形を再現する性能の客観的データである SN 比を用いて、MP3 方式と提案方式の比較評価を行った。テスト曲データベースとして準備した 35 曲について、MP3 方式と提案方式との両方式を用いて 320kbps に圧縮したデータを比較したところ、ほぼ同等の SN 比を示した。

III-iv 超音波音響信号の心理学的・生理学的効果

(1) 超音波音響信号が主観的音質に与える効果の心理学的実験による検証

音楽再生の主観的音質における超音波成分の重要性を踏まえて、超音波成分が人間の感覚に与える影響を心理的に評価した。その検証のために、(1)ライブ演奏、(2)それを録音した CD をフルーエンシ DAC によって超音波成分を含めて再生した音、および(3)同じ CD を従来 (Shannon) 型 DAC によって再生した音、の 3 種の音源によるブラインド比較聴聴に基づき被験者に主観的印象を評価させる心理実験を行った。その結果、ライブ演奏と録音との音源の相違、および録音からの音楽再生における超音波成分の有無が音響知覚に影響を与えることなどを確認できた。

(2) 超音波音響信号が中枢神経の処理に与える影響の脳波計による検証

他方、生理学的観点からは、超音波刺激が中枢神経系の活動に与える影響を観測した。まず、被験者に超音波によるうなり音(差音)と、それと同周波数の純音を聞かせ、脳の聴覚野の活動における相違を脳波計による測定に基づき比較検討する実験を、東京電機大学との共同研究として行った。その結果、超音波差音と純音とで明らかに脳内活動に相違があ

ることが確認できた。従って、生理学的見地からも超音波成分の有無が音質の知覚に何らかの影響を及ぼしていると考えられる。さらに、脳波測定では条件の違いが被験者の聴覚野の活動にどのような違いとして反映されるかを詳細な空間分布として得ることは困難であるため、空間分解能に優れる脳磁波計による検証で聴覚応答の空間分布を明らかにした。

IV 印刷・静止画研究

印刷・静止画研究では、従来の Adobe Photoshop などの画像処理システムをはるかに凌ぐ次世代フルーエンシ DTP システムを提案し、コンテンツの自動分類や高精細な解像度変換を実現した。さらに次世代 DTP システムを実証するために、画像・印刷物の編集・配信・提示・検索機能を実現するさまざまな応用システムを開発した。

IV-i 印刷・静止画研究への取り組み

(1) 次世代印刷システム開発の経緯

印刷・静止画研究は、1971 年に公表された JIS 第一フォントへの直線と円弧による函数近似の適用から出発し、今日まで 30 年以上にわたり函数近似化手法の深化を図ってきた(図 24)。画像輪郭の自動函数近似などの理論研究とともに応用実技術の開発に取り組み、印刷システムに同手法を取り込むことで実現した高精細・スケーラブルなフルーエンシ DTP システムは、画期的な新技術として 2003 年印刷学会論文賞を受賞した。また、低容量性に加えて双方向通信機能を搭載したオンライン DTP システムは、印刷の業態を変えうる新技術としてマスコミに大きく取り上げられた。さらに開発された個々の要素技術を有機的に結合することによって、編集・配信・提示・検索機能を統一的記述形式に基づいて処理する次世代フルーエンシ DTP システムが開発された。同システムの開発により、現状に見られる多種多様なフォーマットの混在の問題の解消が可能となった。次世代フルーエンシ DTP システムは、フォーマットの統一による新たな世界標準技術として、「印刷革命」をもたらすことを実現可能な目標として掲げてきた。

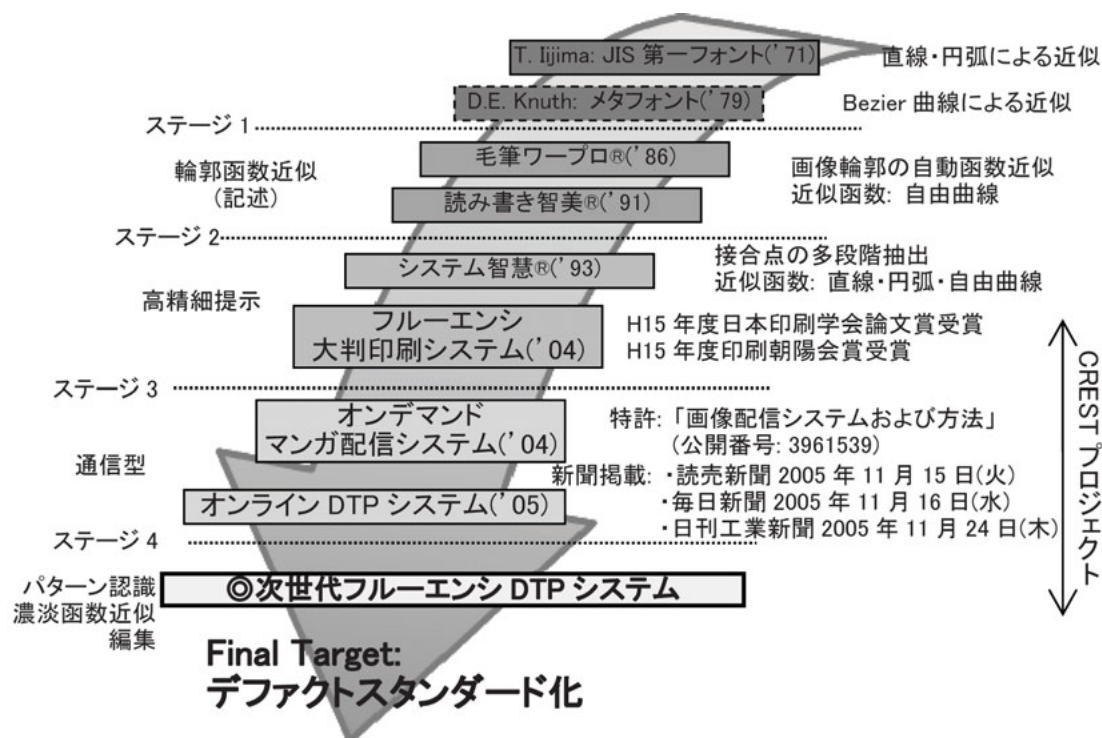


図 24 印刷・静止画研究の流れ

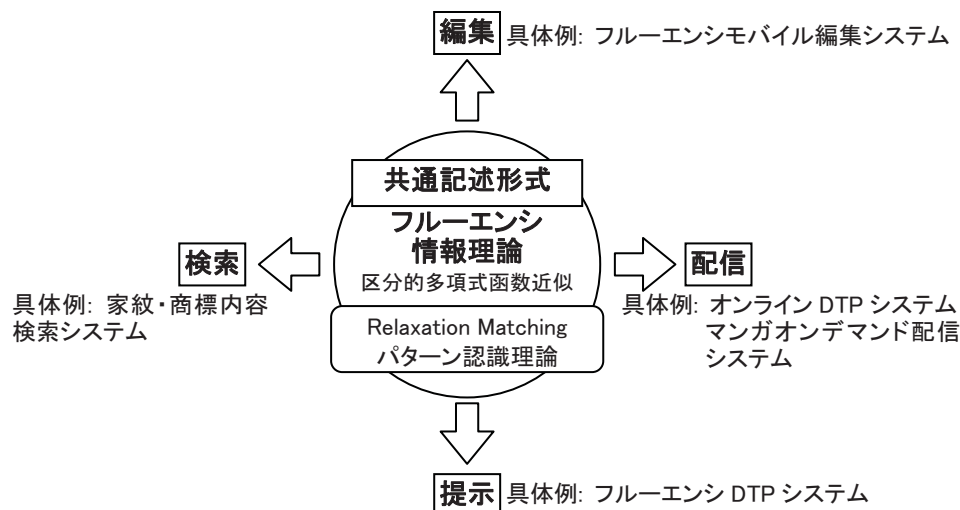


図 25 次世代フルエンシ DTP システムの実証例

(2)次世代フルエンシ DTP システム

次世代フルエンシ DTP システムは、パターン認識などを取り入れたフルエンシ理論に基づく共通記述形式をコア技術とし、マルチメディアの編集・配信・提示・検索の機能を統合的に処理するものである。その共通記述形式を実証するため、これまでさまざまな具体的な応用システムが開発されてきた(図 25)。次世代フルエンシ DTP システムにおける処理の概要は、まずテキストやイラストおよびフルカラーの自然画像が混在する画像に対して、テキスト、イラストと自然画像とを自動的に切り分けるコンテンツ自動分類の処理を行い、分類されたそれぞれのコンテンツに最適な輪郭、濃淡あるいは周波数領域での函数近似を適用していく(図 26)。フルエンシ函数表現に変換された画像は従来形式と比べ、データサイズの大幅な削減だけでなく、いかなる解像度に拡大あるいは縮小されても元の品質を落とさずに高精細に表示することが可能となった。次節からシステムを構成する各要素技術について詳述する。

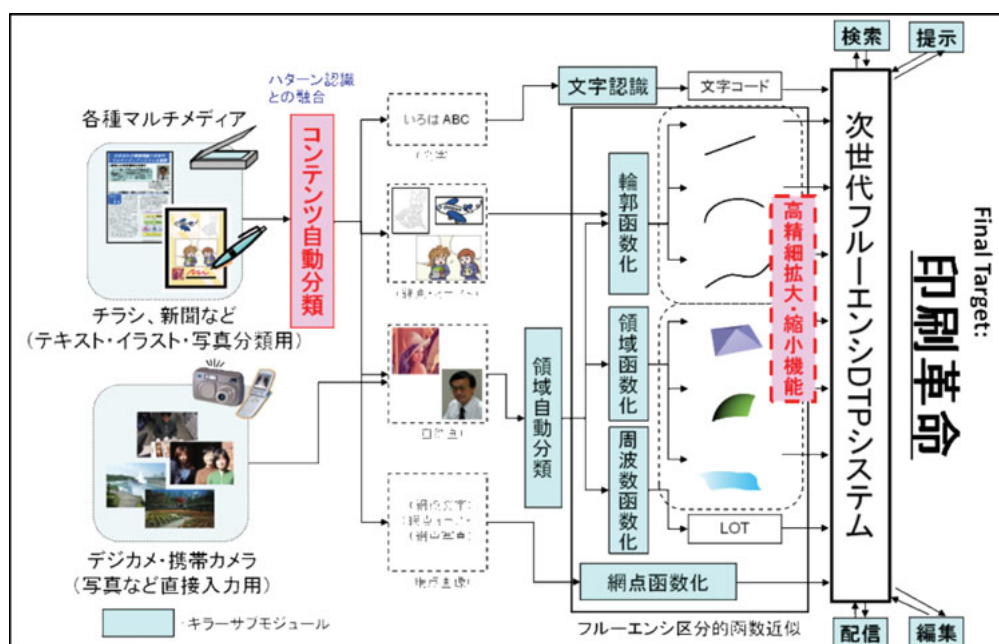


図 次世代フルエンシ システムの処理フロー図

IV-ii 要素技術

(1)コンテンツ自動分類

入力された静止画像の多くは、文字や線画によく使われる 1 画素 1 ビットの 2 値画像領域、漫画やイラストなどにおいて頻繁に登場する 1 画素 8 ビットのハーフカラー領域、および 1 画素 24 ビット以上のフルカラー画像領域が混在する(図 16(a))。画像のコンテンツ分類は、それぞれの領域に最適なフルエンシ函数化を施し高精細な解像度変換や高圧縮な記述を実現するための前処理である。色および空間情報に基づく領域分割、さらに緩和則を取り入れた領域統合の手法に基づいて画像のコンテンツ自動分類を行ってきた(図 27(b), (c))。



図 27 文字・イラスト・写真が混在する画像の自動分類例
(a)入力画像、(b)分類された文字、イラスト領域、(c)分類された自然画領域

(2)輪郭・濃淡函数近似

コンテンツ自動分類によって抽出されたイラスト画像のように、明確な輪郭を持ち各領域の濃淡分布が平坦な画像については、色領域の輪郭をフルエンシ函数近似することで、従来手法より効率の良い符号化・復号を実現した(図28)。この函数近似の利点は、函数表現に変換されたそれぞれの領域が、いかなる解像度においても常に滑らかな輪郭線を描くことができることにあるが、これは個々の画素情報を記述する従来のラスタ形式では不可能な機能である。さらに、色領域が連続的かつ規則的に変化するグラデーションで描写されているようなイラスト画像においては、単色領域のみに適用する輪郭線近似を行うだけでは、拡大のときにぼけやかすみが生じる現象が多く見られるが、領域の二変数函数近似を行なうことで、グラデーションの変化の線形性を保ったまま高精細に拡大あるいは縮小することが可能となった(図29)。



図 28 イラスト画像を函数化し、縦横それぞれ 5 倍に拡大した画像の比較
(a)入力画像[BMP, 8bits/pixel, 472x363, 168KB]、(b)従来法[JPG, 487KB]、(c)提案法(輪郭函数化)[3KB]
従来法(b)ではアーティファクトが多数見られるのに対し、提案法(c)ではアーティファクトが発生することも無く、さらに圧縮率の面でも大幅に改善されている。

(3)自然画像の高精細拡大



図 29 グラデーション画像(BMP, 24bits/pixel, 528x278, 430KB)を函数化した画像の比較
(a)従来法(単色領域函数化)[226KB]、(b)提案法(領域二変数函数化)[3.18KB]

従来法(a)ではアーティファクトが多数見られるのに対し、提案法(b)ではアーティファクトが発生することも無く、さらに圧縮率の面でも大幅に改善されている。

自然画像のような濃淡画像については、エッジを考慮したフルーエンシ二変数 DA 函数を用いて高精細に拡大する手法を実現した。一般に従来の画像解像度変換手法は、画素の情報によらず画像全体で一様な解像度変換を行っており、補間する画素近傍の垂直または水平方向のライン情報を用いて補間している。そのような解像度変換手法として最も一般的に用いられているのは Sinc 函数の多項式近似であるバイキュービック法である。しかし、従来の解像度変換手法には、画素の格子に起因するノイズが生じたり、エッジ付近がぼやけて鮮鋭性が失われたりしてしまう問題がある。このため、画像のエッジ付近とそれ以外の領域において、函数のインパルス応答を適宜に調整することが必要との観点から、画素近傍の情報に基づいて補間を行うフルーエンシ二変数 DA 函数を提案した。結果としては、バイキュービック法などに比べてエッジ形状をより忠実に再現する拡大画像を実現した(図 30, 31)。

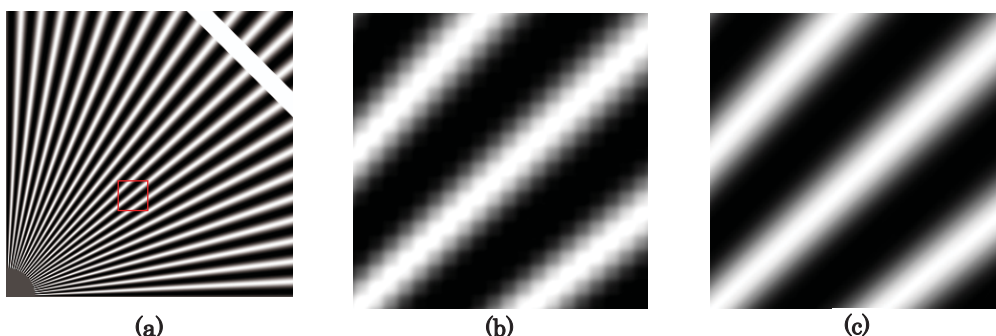


図 30 ISO テスト画像(a)の一部を縦横それぞれ 10 倍に拡大した画像の比較
(b)従来法(バイキュービック法)、(c)フルーエンシ補間方式

従来法(b)にはエッジ付近にノイズが見られるのに対し、フルーエンシ方式(c)ではエッジ形状を保った高精細な補間が行われている。

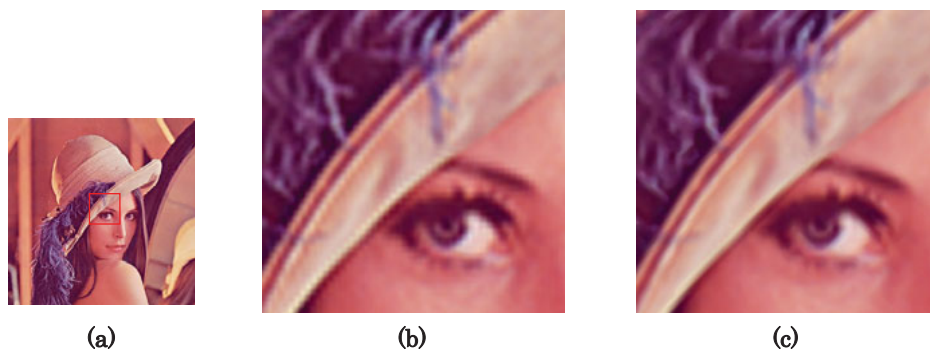


図 31 ISO テスト画像(a)の一部を縦横それぞれ 20 倍に拡大した画像の比較
(b)従来法(バイキュービック法)、(c)フルーエンシ補間方式

図 19 の比較結果と同様にフルカラー画像においても従来法(b)では輪郭付近にノイズが目立つのに対し、フルーエンシ方式(c)ではエッジ形状を保った高精細な補間が行われている。

(4)自然画像の高精細縮小

自然画像のような濃淡画像の縮小においてもフルーエンシ二変数 DA 函数を用いて高精細に縮小する高速アルゴリズムを開発した(図 32)。画像の縮小に際し、最も処理速度が速い手法は画像をそのままダウンサンプリングする単純間引き法である。一方、品質を重視するケースでは平均画素法と呼ばれる手法が一般的に用いられる。この二つの手法は、ともに長所・短所を持っている。単純間引き法は高速処理が可能であるが画像の品質を大きく落とすことがあり、平均画素法は品質を維持できるが画像のサイズによって極端に処理時間がかかる場合がある。これらの欠点を踏まえ、フルーエンシ二変数 DA 函数を活用することにより、自然画像を高精細かつ高速に縮小する手法が開発された。この手法により、従来の単純間引き法と同程度の処理時間で、従来の高品質法である平均画素法と同程度以上の品質を得ることが可能となった。

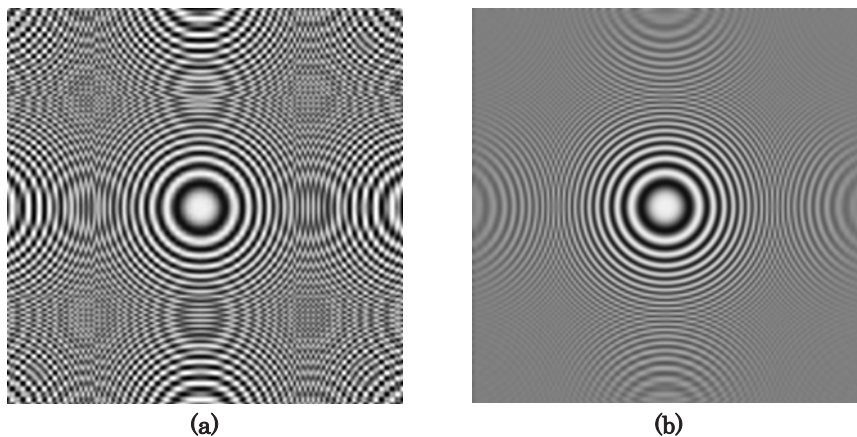


図 32 テスト画像(ゾーンプレート)を縦横それぞれ 0.4 倍に縮小した画像の比較
(a)従来法(平均画素法)、(b)フルーエンシ方式
従来法(a)には周波数の折り返し歪みが多数見られるのに対し、フルーエンシ方式(b)ではノイズの少ない高精細な画像が得られている。

IV-iii 実証システムによる検証

(1)フルーエンシ DTP システム

フルーエンシ輪郭・濃淡函数化を取り入れることで、高精細・スケーラブルな印刷精度とコンパクトなデータサイズが実現できるオフライン型 DTP システムが開発された(図 33)。このシステムは、画像を任意のサイズに拡大しても、従来形式に見られるジャギーを生じることなく高精細な解像度変換を実現した。さらに大きな利点は、従来形式と比べデータ的大幅な低容量化を図ることができる点にある。本システムの開発の成果により H15 年度日本印刷学会論文賞ならびに H15 年度印刷朝陽会賞を受賞した。

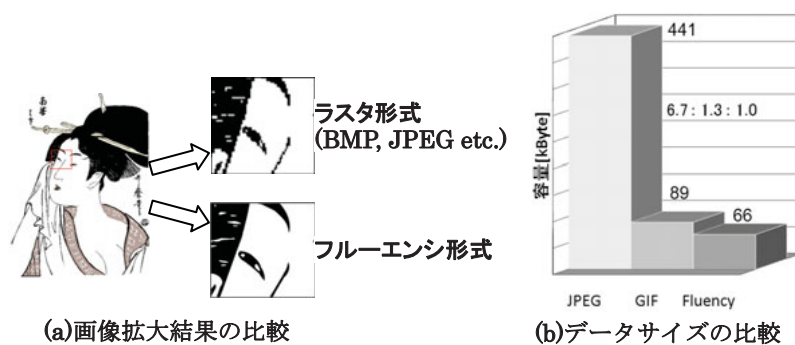


図 33 フルーエンシ DTP システム

(2) オンライン DTP システム

上記のオフライン型 DTP システムに通信機能を取り入れ、ネットワークを介した高精度・低容量な印刷画像の双方向配信や対話的なリアルタイム編集が可能なシステムを実現した(図 34)。本システムによる成果は、印刷業界の態様を変える画期的な技術として評価され、読売新聞(2005 年 11 月 15 日)、毎日新聞(2005 年 11 月 16 日)、日刊工業新聞(2005 年 11 月 15 日)などによって報道された。

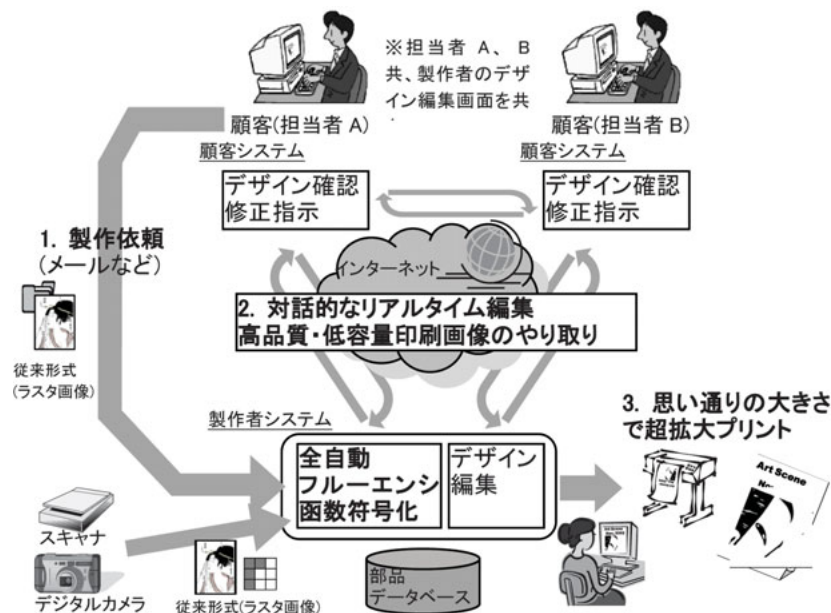


図 34 オンライン DTP システム処理の概要

(3) マンガオンデマンド配信システム

マンガなどの画像を各パーツに分離し、それぞれのパーツを自動函数近似し、各パーツの内容情報およびその位置・大きさなどの構成情報を別々の経路で配信することによりセ

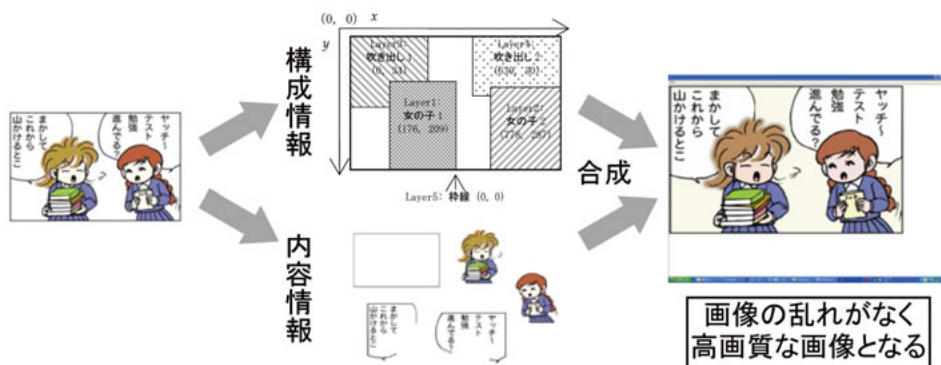


図 35 オンデマンド配信システムの処理概念図

キュアな伝送を実現するシステムを開発した。図 35 はその処理概念図である。また、本システムの実現に必要な画像配信システムおよび方法に関する特許が多数出願されている(画像配信システム及び方法(特許番号: 3961539)画像処理(輪郭線追跡)方法(特許番号: 3882993)文書処理方法(特開: 2006-320875, 2006-332823))。

(4) 商標・家紋内容検索システム

現在の画像検索は、画像の名前や予め付加されたタグ情報などのシンボルに基づく検索が主流である。提案するシステムは、画像の内容そのものの検索を実現しており、2次元の情報を直接検索に持ち込むことが可能となった(図 36)。画像の2次元情報による検索は、フルーエンス輪郭・濃淡函数を用いて画像の自動函数近似を行うことにより実現された。

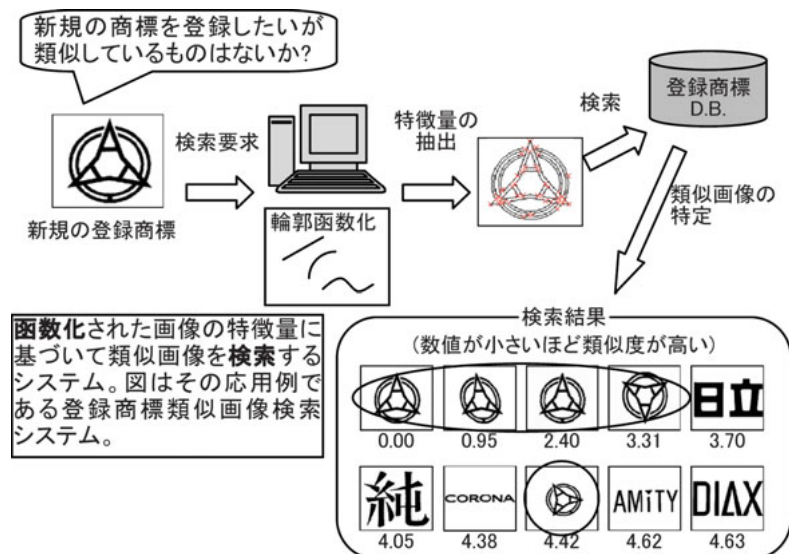


図 36 商標・家紋の自動函数化および内容検索

(5)フルーエンシモバイル編集システム

携帯電話などモバイル機器の普及に伴い、それらの機器で映像・動画などのコンテンツを利用することが一般的になりつつある。モバイル環境向けの画像や映像は、携帯用ディスプレイに適したサイズへの解像度変換を必要とする(図 37)。コンテンツの解像度変換で

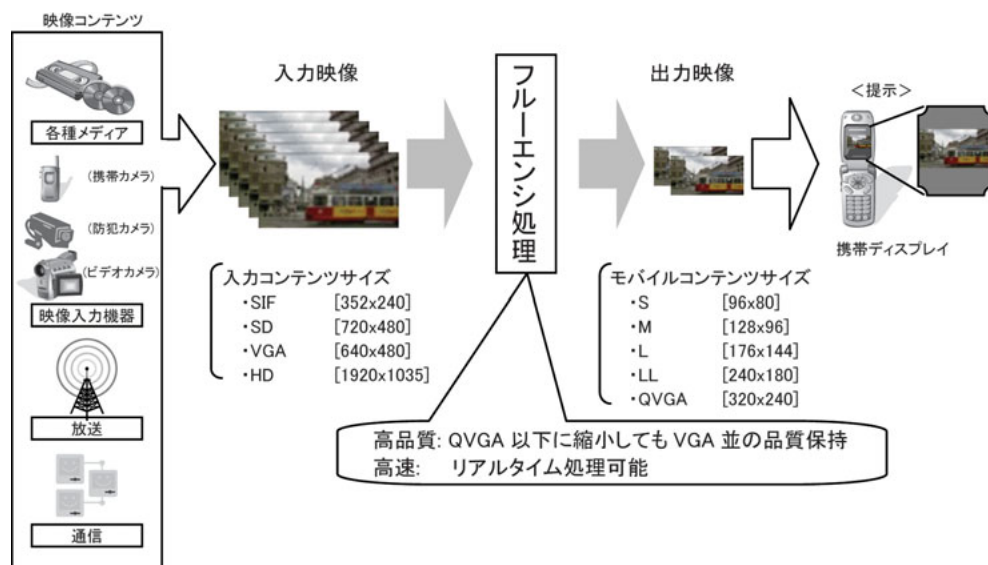


図 37 フルーエンシモバイル編集システムの概要

は、品質の維持もさることながら処理速度が重要である。特に、ニュースなど即時性が求められるコンテンツの制作は編集処理のリアルタイム性を要求し、従来はその要求に応えるため画質が犠牲にされてきた。この問題を解消するため、フルーエンシ二変数 DA 函数を用いて高精細に縮小する高速アルゴリズムが開発された。本手法は従来手法で最も処理が速い単純間引き法と同等の処理速度を持ちながら、後者よりはるかに高精細な縮小結果をもたらすことが可能となった(図 38)。



図 38 HD(1920x1035)サイズの映像を(a)単純間引き法と(b)フルエンシ法でそれぞれ QVGA(320x240)に縮小した結果の比較

従来法(a)ではインタレースの影響によって移動する人物の輪郭に多数のジャギーが現れるのに対し、フルエンシ方式(b)ではノイズの少ない高精細な映像が得られている。

同様な結果は(株)KDDI 研究所によって行われた実証テストからも得られた(図 39)。さらに、高品質な縮小結果を得るための従来手法として、平均画素法と呼ばれる方法がよく知られているが、この手法では処理時間が単純間引き法の約 4 倍かかってしまう。すなわち、従来手法の範囲では品質と処理時間との間にトレードオフが存在する。それに対し、「提案法により従来の高速法と同程度の処理時間で従来の高品質法と同程度以上の品質を得ることが可能となった」(図 40)との評価を得た。今回開発したアルゴリズムは、大手携帯電話キャリアである KDDI(株)に採用され、2007 年秋からモバイル用コンテンツ制作システムに取り入れられた(図 41)。なお、本システムに関する成果は「NHK ニュース 845 (2007 年 6 月 19 日 NHK 総合茨城県域地上デジタル放送)」、日経産業新聞(2007 年 6 月 20 日)などで報道された。



(フルエンシ法)

(従来法)

図 39 縮小画像の比較

(2007 年 6 月 14 日 KDDI(株)ニュースリリースより)

品質-処理時間の比較例(※KDDI 研究所提供)

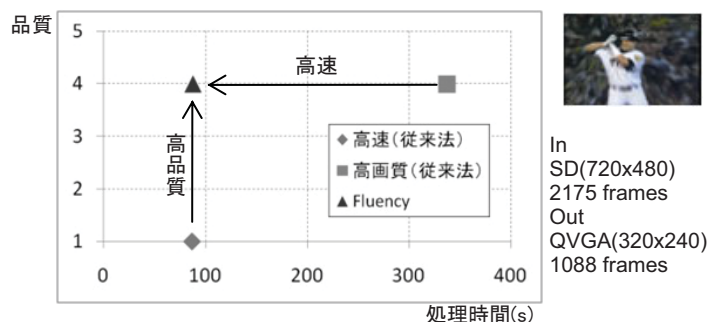


図 40 画像縮小における画質および処理時間の評価

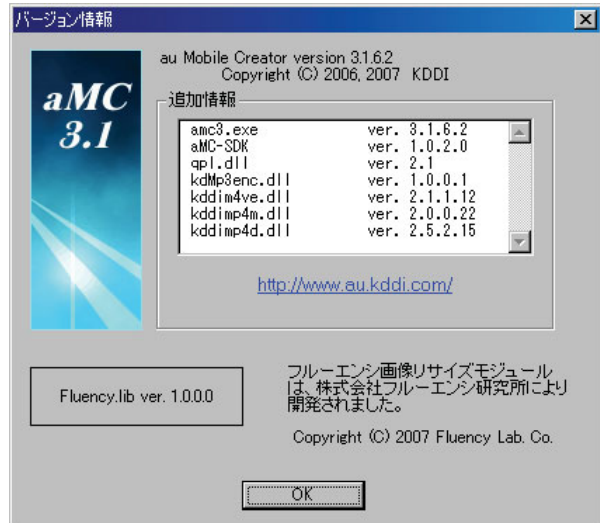


図 41 フルーエンシリサイズモジュールを搭載した KDDI のモバイルコンテンツオーサリングツール(aMC)

V 映像・動画研究

映像・動画研究では、単一フレーム高精細化の実用システムを完成させ、今後の超大型高精細表示システムに必要なモジュールを開発した。また、Post-MPEG システムへのステップとして、アニメーション圧縮システムを完成した。

V-i フルーエンシテレビから次世代映像・動画処理システムへの取り組み

映像・動画は、空間と時間との両方の変数を持っており、総合的なマルチメディアである。映像・動画信号の記述形式開発においては、1989 年にテレビの NTSC 信号をハイビジョン並に高精細化するフルーエンシテレビを開発し、1998 年にはその技術がテレビ信号処理用 LSI として製品化された。初期には図 42 に示すように、高精細化を目標に置いた研究と、高圧縮化を目標に置いた研究との二つの流れで研究が進められてきた。最終的にはこの二つの流れを統合した、図 43 に示すような次世代映像・動画処理システムの開発を目標として研究を行った。

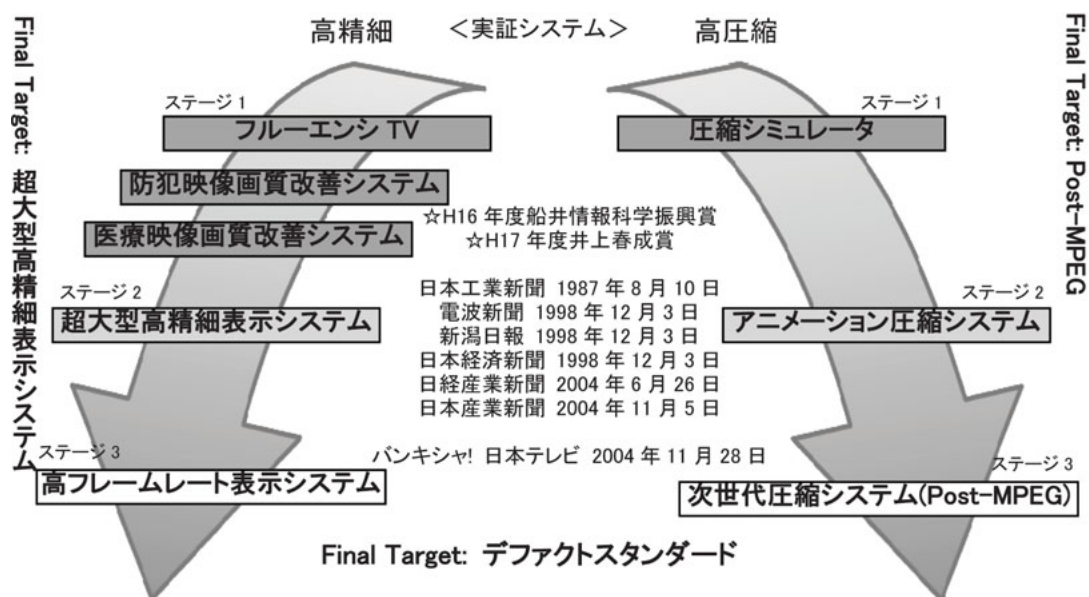


図 42 映像研究の方向性

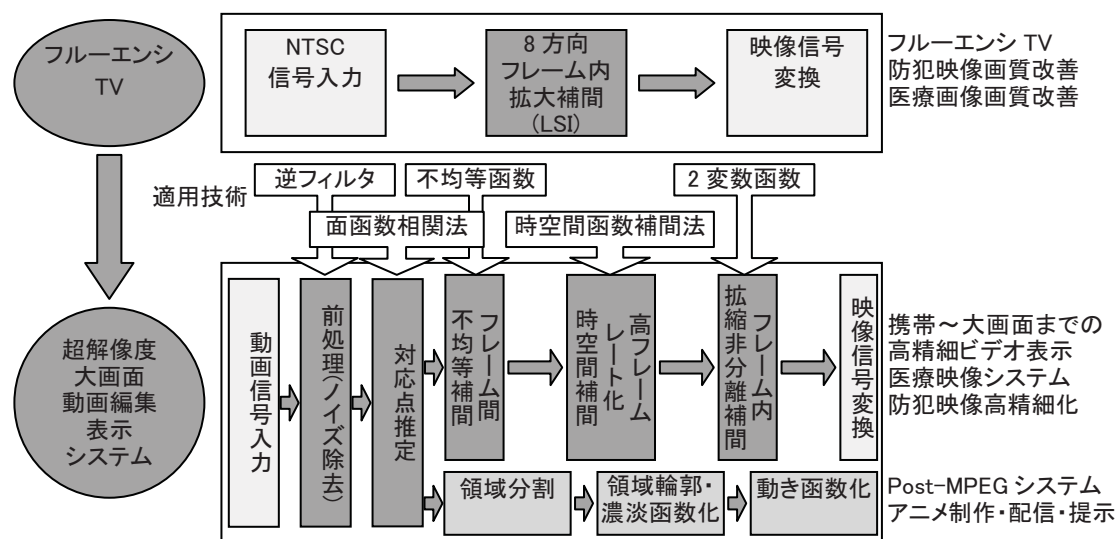


図 43 フルーエンシ TV から次世代映像処理システムへ

これまでに開発された高精細化システムは、既述の高精細化 TV の他、警察の刑事事件捜査や医療の臨床検査にも実用システムとして提供されるなど、その有効性が各応用分野で実証された。

これら映像・動画関連技術の基本となる記述形式は、映像・動画を構成する各フレームの輪郭・濃淡情報に関する、印刷・静止画と同様な、多数の多変数フルーエンシ函数に基づく表現である。さらに、離散フレーム列を区分多項式に基づく時間方向の連続函数で記述することで、任意フレームレートの高品質な映像・動画を再生することが可能となった。

V-ii 映像・動画高精細化技術

(1)研究の段階

高精細化研究は、超大型高精細表示システムの構築を最終ターゲットとして、その実現のために 3 段階の目標を設定した。ステージ 1 では単一フレーム内で完結した高精細化を可能にし、ステージ 2 では複数フレームに基づく単一フレームの高精細化を実現した。さらに、ステージ 3 では高フレームレート化を図った(図 44)。

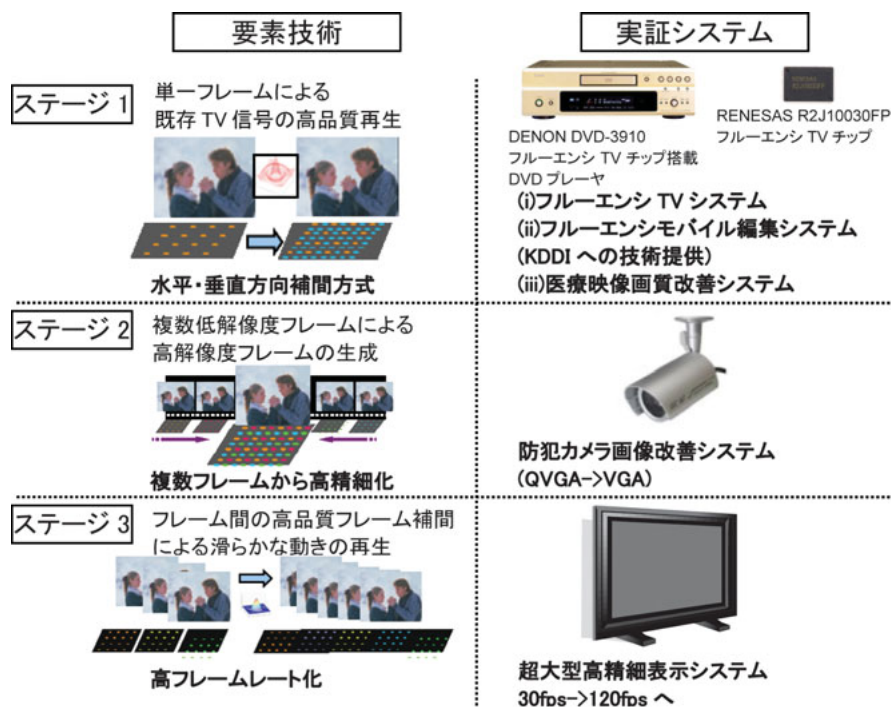


図 44 映像高精細化技術開発のステップ

図 45 は各開発段階における高精細化の処理フローを示す。この図が示す映像・動画高精細化処理の概要は、以下のとおりである。まず共通の前処理としてノイズが除去され、それ以降はモジュールごとの処理が行われる。単一フレーム内補間の場合は、水平・垂直方向で独立にフルーエンシ関数を用いて補間・解像度変換された映像動画の階調情報が計算される。フレームの空間補間の場合は、まず動いた画像についてフレーム間で対応点を推定する。それによって得られる動き情報と前後フレームの階調分布情報に基づき、不均等補間関数を用いて、目的とする高解像度フレームの階調情報が推定される。フレームレートの変換の場合は、画像の動きから時間とともに移動するオブジェクトのトレースを推定して関数で近似し、得られたトレースに基づいて任意時刻におけるフレームの階調情報が求められる。この階調情報計算において、空間方向の均等・不均等補間と時間方向の補間が必要となる。

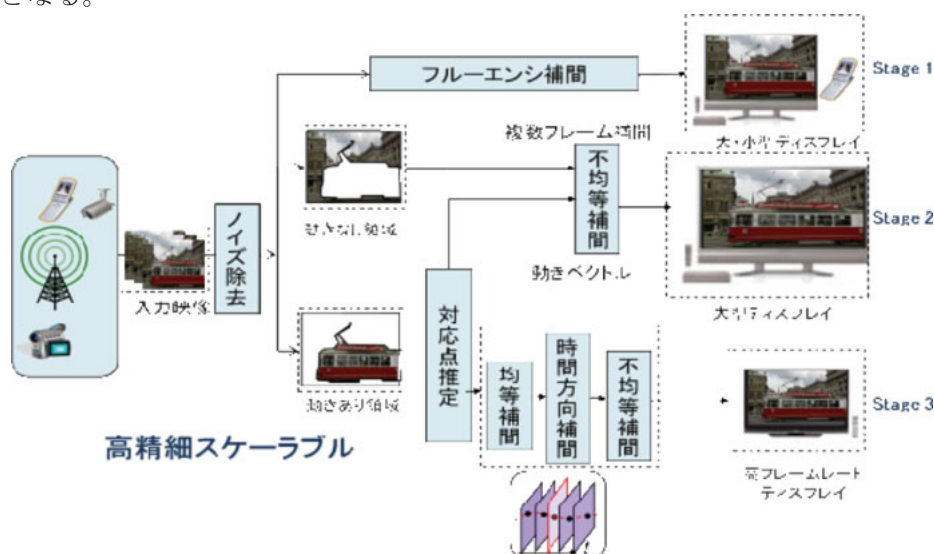


図 45 映像高精細化処理フロー

(2)単一フレーム内補間

単一フレーム内補間は、図 46 に示すように、NTSC 規格の TV または DVD 映像・動画信号に対して、補間関数を畳み込むことによって解像度向上を図る処理である。従来手法による解像度改善のための画素補間では、補間の対象となる画素に隣接する画素だけではなく、さらにその周辺の画素信号まで演算に用いる必要があったため、滑らかな波形を再生することができないという問題があった。

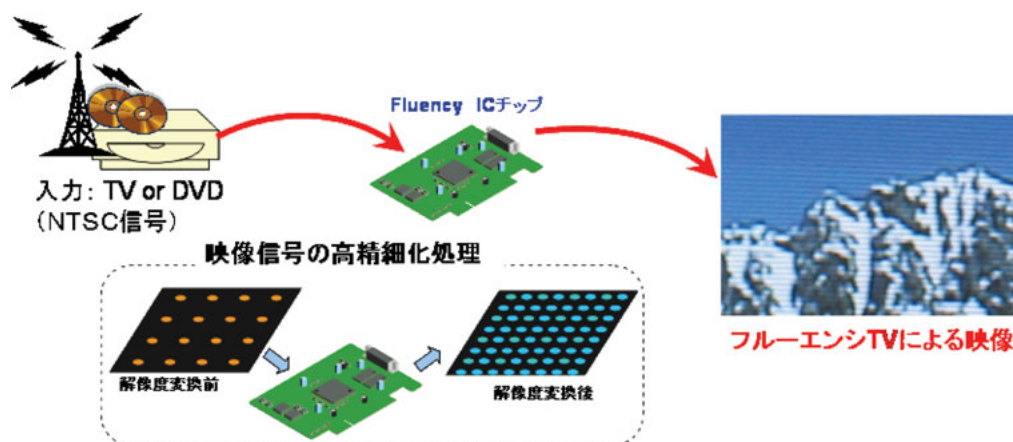


図 46 単一フレーム内補間方式の概要

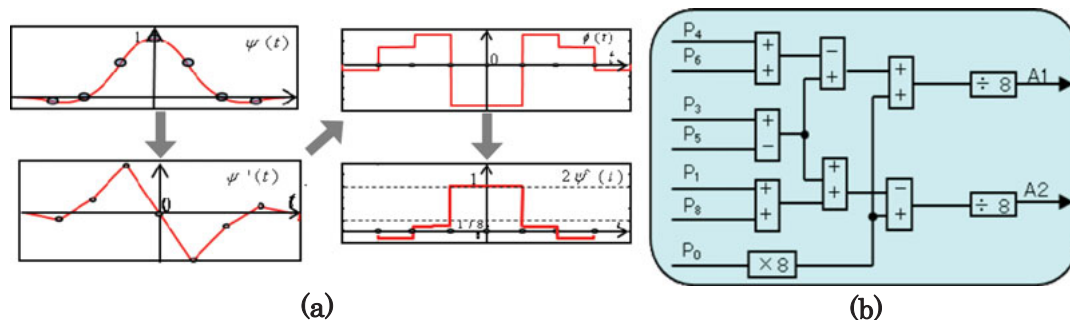


図 47 インパルス応答函数の改善: 水平・垂直補間 IC における高速演算化を実現
(a)補間函数の標準化関数の高速算法 (b) 演算回路構成: 加算とビットシフト回路のみで構成することで実時間処理を実現。なお $\times 8$, $\div 8$ はビットシフト演算を表している。

これに対して、フルーエンシ函数を用いて高周波数成分まで自然な形で引き出すような補間を行うことにより、水平・垂直・斜め方向に画素を増やし解像度を上げることができた。当プロジェクトは、この畳み込み処理を高速で実行するための具体的な手順を提案し、その有効性を確認した。図 47(a)は補間用標準化函数の高速算法、(b)は補間を高速に処理する回路の構成を示す。これらの技術を採用した画質改善用 IC が新潟精密(株)・(株)ルネサステクノロジによって生産された。これにより、医療などの高解像度が要求される分野で単一フレーム内補間の適用が可能となった。図 48 は従来方式の TV 画像とフルーエンシ方式により画質改善処理された TV 画像との比較を示す。この成果に関しては、大学における研究と企業における製品化の協調によって、技術の進歩に顕著に貢献したことが評価され、2005 年に井上春成賞を受賞した。

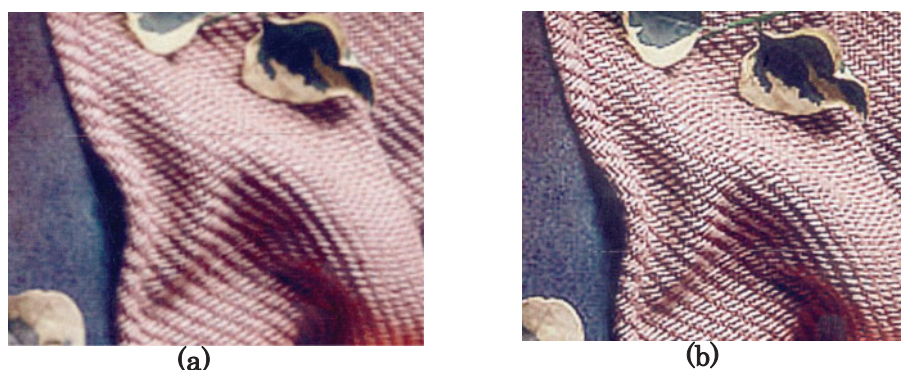


図 48 従来 TV とフルーエンシ TV の画質比較
(a)従来 TV による再生 (b)提案法による高精細化した再生
従来 TV と比べて、フルーエンシ TV による再生はシャープになっている

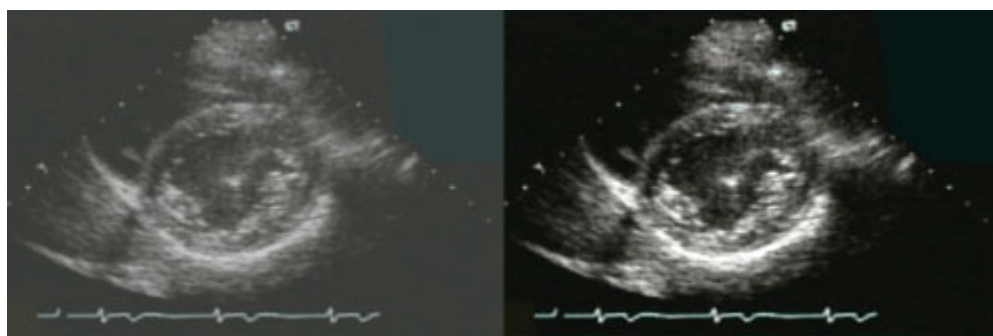
(3)フレームの空間補間

映像・動画の中でも防犯カメラ画像などは、比較的動きが遅く、変化の少ない似通ったフレームを多数含むという特徴がある。この特徴を利用することで、複数のフレームを用いた補間による単一フレームの高画質化が可能になった。複数フレーム補間においては、フレーム間で対応する画像要素を抽出し、その画像要素に対してフレーム間の画像の移動量を求め、その移動量に基づき不均等補間処理を行うという手順で高精細化処理がなされた。この処理において重要なモジュールはノイズ除去、対応点推定である。

ノイズ除去に関しては、テンソル積オペレータに基づき逆推定を行うフィルタが考案された。図 49 に示すように、提案方式に基づくフィルタは従来のウィナーフィルタよりも鮮明な画像が得られることを確認した。客観的な性能指標の一つである PSNR による評価では、提案手法は従来手法より画質が良いことを確認した。この手法の有効性は医療用超音波画像のノイズ除去においても実証された(図 50)。



図 49 ノイズ除去におけるウィナーフィルタと提案法の比較
提案法は対象の動きの速さに関わらず、従来法より鮮明な映像を生成している。
(モーションブラーの大きさは動きの速さに依存し、ノイズ除去の性能に影響する)



(a)ウィナーフィルタによる処理 (b)提案方式による処理

図 50 心エコー画像のノイズ除去
従来手法でノイズ除去した心エコーの画像(a)がぼやけているのに対し、
提案手法でノイズ除去された画像(b)はより鮮明である。

また、対応点推定に関しては、フルーエンシ理論に基づいて、フレーム間の相関関数が属する函数空間を正確に決定することにより、相関関数の最大値が厳密に求められ、任意精度での動きベクトル検出が実現した。提案手法と従来手法(2次多項式補間)の比較によって、提案手法の有効性が確認された(図 51, 52)。

(4) フレームレートの変換

フレームレート変換は、日本と海外のテレビ信号の間、また映画とテレビの信号の間でフレームレートが異なるために必要になる。また、最近の液晶テレビなどにおいて、素子の応答特性による画像劣化をフレームレートの向上で改善することが要求されている。

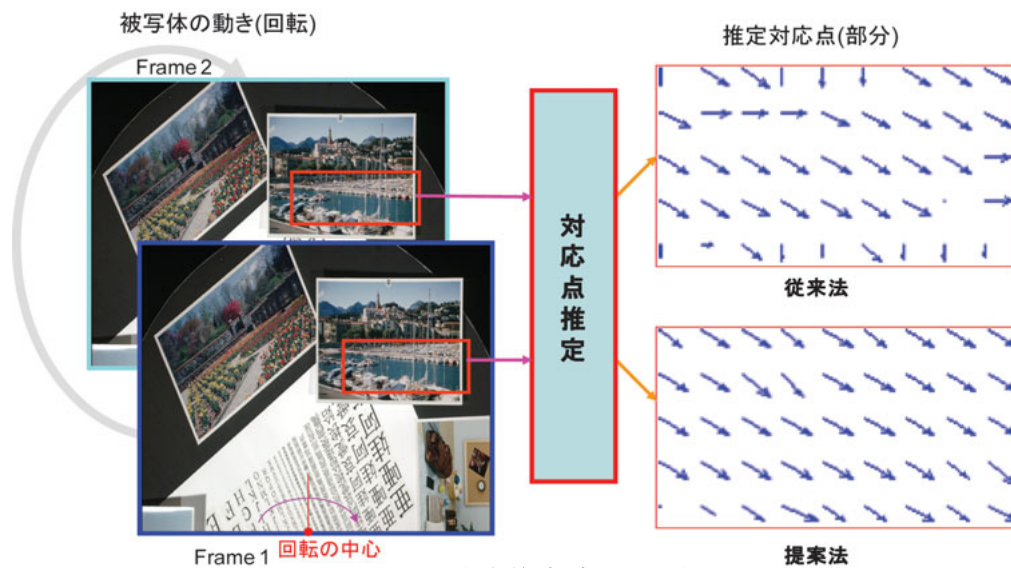


図 51 対応点推定結果の比較

従来手法はノイズの影響に敏感なため誤差が大きくなってしまいうのに対し、提案手法はノイズに対するロバスト性を示している。

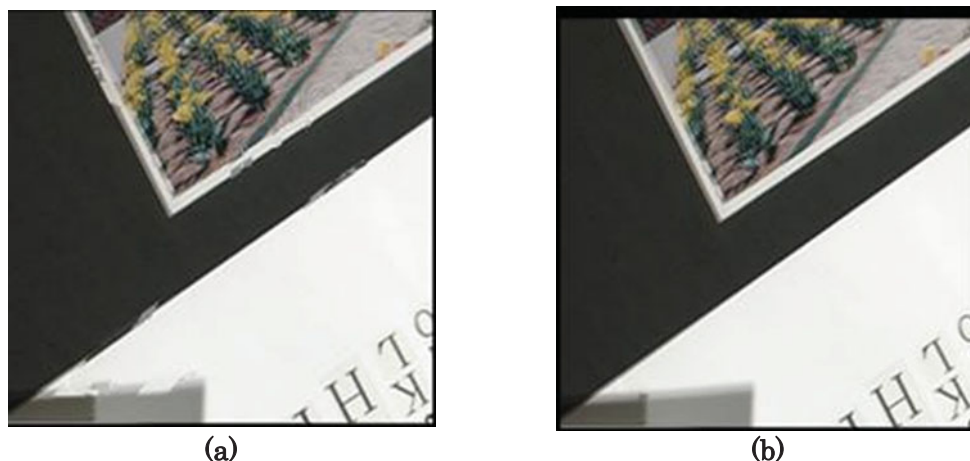


図 52 フレームの空間補間の結果

(a)従来手法(2次多項式補間), (b)提案法(フルーエンシ)

フレームの空間補間において、従来手法では動き情報が正確に得られないため、生成された画像にずれを生じている。提案法ではより正確な画像を生成している。

これらの要求に対応するため、複数フレーム間の局所的な対応点を推定し、対応する画素点を時間方向に沿ってフルーエンシ函数に基づいて補間することにより、高画質な内挿フレームを生成する技術が開発された。従来手法で構成したフレームと比較して、提案手法で構成したフレームは画質が向上していることが確認された(図 53)。

V-iii 映像・動画高圧縮化技術

映像・動画高圧縮化の研究においても、高精細化研究と同様に、3段階の目標を設定して Post-MPEG を目指した研究開発を進めてきた。ステージ 1 では KDDI(株)との共同研究で、圧縮シミュレータを構築した。このシミュレータは、函数化アルゴリズムの置き換えが容易であるため、フルーエンシ函数に基づく圧縮アルゴリズムの開発期間短縮を可能にした。ステージ 2 では領域分割、輪郭・濃淡函数化などの処理モジュールを応用して、後に詳述するアニメーション圧縮システムを開発した。このアニメーション圧縮システムで圧縮された映像・動画は、従来の MPEG2 と比較してデータサイズが少なくなり、1/6 以下になる

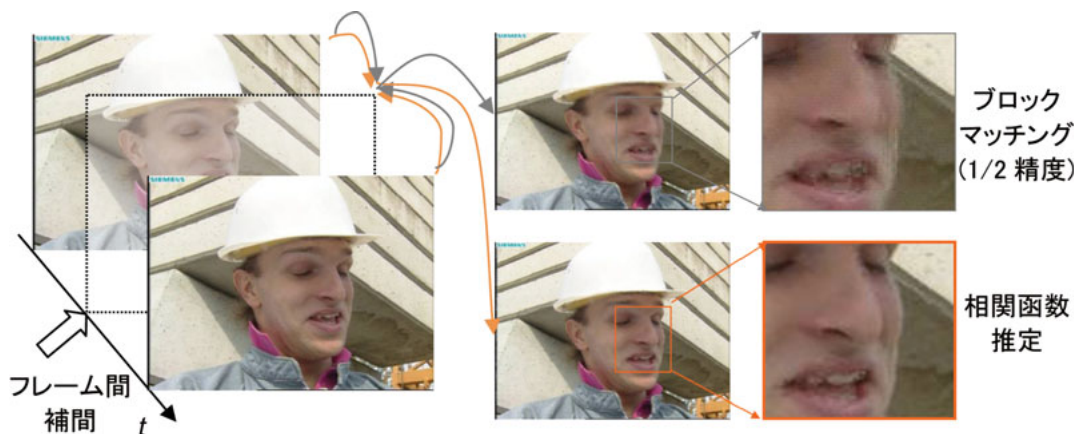


図 53 高フレームレート化による映像の高品質化
従来手法(1/2 のブロックマッチング)で推定された動きに基づいて生成された中間フレームがぼやけているのに対し、提案手法(フルエンシ函数に基づく相関関数の推定)で推定された動きに基づいて生成された中間フレームは画像が鮮明である。

という実験結果もある。しかも元の映像・動画に忠実かつスケーラブルな再生が可能になった。ステージ 3 ではアニメーションに限定しない一般的な映像・動画シーケンスに対して、MPEG2 と同等の画質を 1/5 程度以下のデータサイズで再生する映像・動画圧縮システムの構築を目標とした。

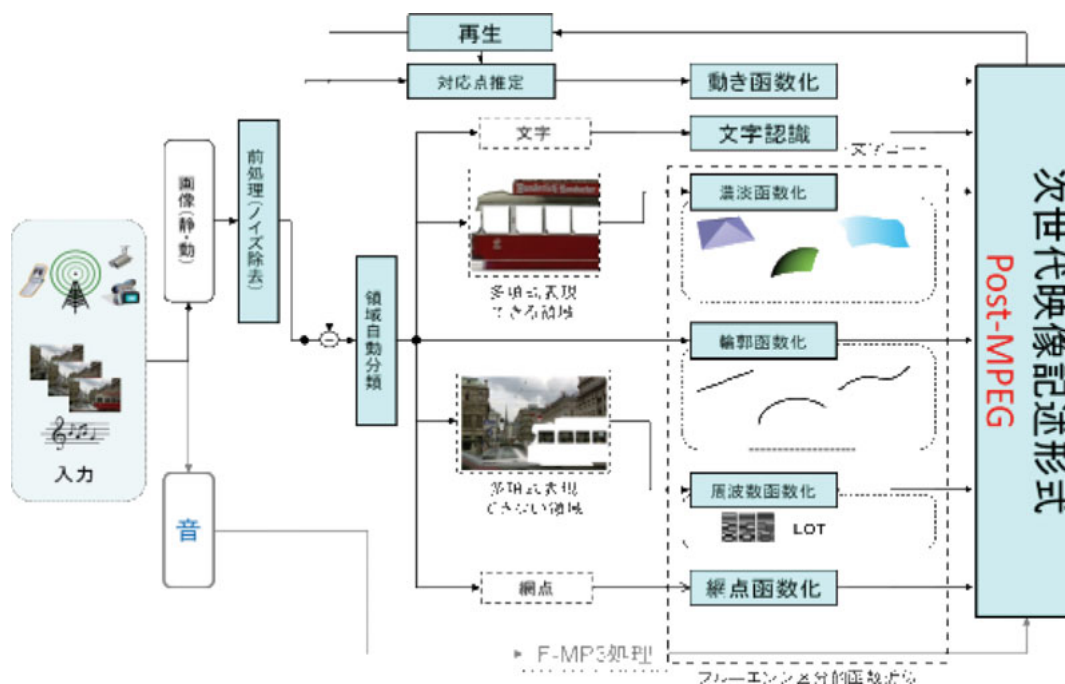


図 54 映像高圧縮処理フロー図

図 54 は次世代映像・動画処理システムの高圧縮化の処理フローを示す。この図が示す映像・動画高圧縮化処理の概要は、以下のとおりである。まず前処理としてノイズ除去を行い、鮮明なフレームを得る。得られた鮮明なフレームを分類・領域分割し、分類・分割された各領域に対して最適な輪郭・濃淡・周波数函数近似を適用することで、フルエンシ函数近似に基づく映像・動画符号化方式を実現する。この新しい映像・動画符号化方式は、(i)データサ

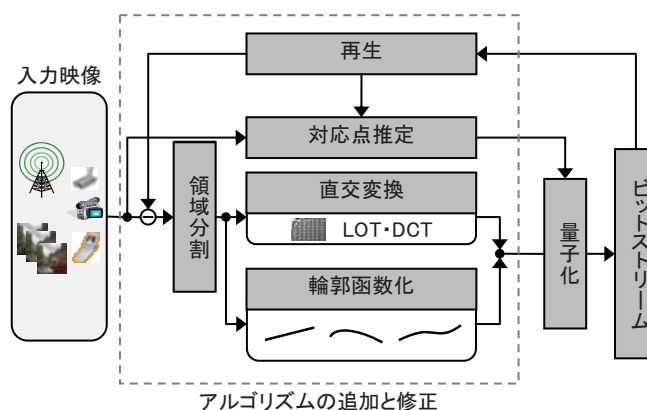


図 55 圧縮シミュレータの構成

イズの大幅な削減が可能となり、通信網のトラフィックを大きく軽減できる、(ii)統一的符号化に基づく記述によって解像度の異なるデバイスごとにシステムを準備する必要がなくなるため、処理ハードウェアの共通化によるコストの削減につながる、(iii)映像・動画が函数で記述されているため、解像度を変換しての提示・編集・検索が容易になる、といった有効性を持つ。映像・動画の記述形式として現在最も普及している従来技術である MPEG は DCT をベースとした映像・動画符号化を行っているが、これに対してフルエンシ理論に基づく映像・動画符号化は、原信号に適した信号空間を選択しそれに応じて函数化を行うことで、MPEG よりも画像のシャープさを保持したままの高圧縮化を実現する可能性が示された。Post-MPEG 圧縮システムの開発においては、アルゴリズムの検証および MPEG との比較を容易にするシステムが要求された。そのため、当プロジェクトは KDDI(株)と共同で、MPEG 符号化/復号をベースとする圧縮シミュレータを構築した。シミュレータの構成を図 55 に示す。この圧縮シミュレータによって、前述した対応点推定、LOT、領域分割、輪郭函数化など要素技術モジュールの開発が容易となった。

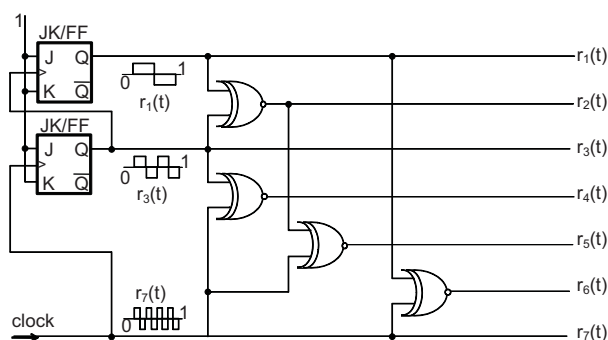


図 56 LOT 函数基底を生成する回路

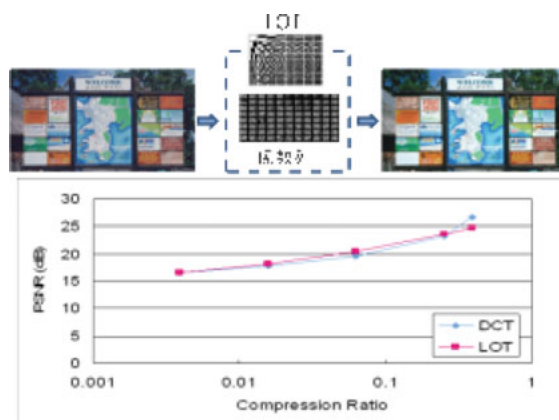


図 57 LOT と DCT の性能比較

Post-MPEG に必要とされるモジュールのうち、LOT は本研究室において 1970 年代より研究されてきた技術である。LOT は、その変換行列の要素が+1 または-1 のみで構成されるため、変換が加減算のみで構成できるという特徴がある。そのため、他の直交変換に比べて、計算が高速で、ハードウェアに実装する場合でも簡単な構成にできるというメリットがある。図 56 は、一次元の LOT 函数基底を生成するハードウェア回路を示す。

特に最近、直交変換におけるミスマッチの問題や、形状適応直交変換の研究が重要視されており、それにともない LOT の研究もますます重要となった。LOT は $m=1$ に対応するフルーエンシ信号空間の基底であり、マルチメディア信号を記述するのに最も重要な信号空間を構成する $m=1, m=2, m=3, m=\infty$ の中の一つであることから、フルーエンシ理論に基づくマルチメディア情報の圧縮においても LOT は重要な役割を果たした。図 57 は LOT を実装して DCT と性能を比較した結果を示す。これによって、LOT は DCT と同等以上の性能を示すことが確認された。

領域分割は、関数を用いて映像・動画の輪郭・濃淡を表現する上で重要な前処理であり、信号の性質に応じて領域を適切に分割することでフルーエンシ関数近似による効率的な記述が可能になった。図 58 は領域分割の例を示す。図 59 はフルーエンシ関数を用いた輪郭関数化の一例である。



図 58 領域分割の例

左から右、上から下の順に、原画像、領域分割した結果、各領域を含む最小長方形、各部分領域を追跡した結果、を示す。これらの情報は、フルーエンシ関数を用いて映像を表現するのに必要な情報となる

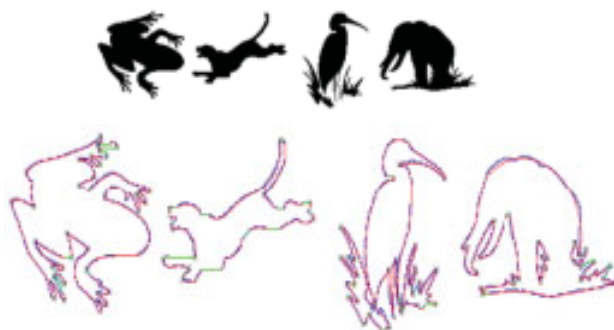


図 59 輪郭関数化の例

フルーエンシ関数を用いて輪郭関数化を行うにあたり、主に $m=2, m=3, m=\infty$ に対応する曲線に基づいて逐次に関数近似の回帰誤差を計算し、それらの中で回帰誤差を最小化する関数表現を決定する。

次世代映像・動画記述形式に要求されるこれらのモジュールの高速化・省資源化による、モバイル映像・動画編集・配信システムの実現可能性が示された。特に、フルーエンシ情報理論の拡張とともに、LOT 圧縮処理の高速化、対応点推定性能の向上、一般的な映像・動画コンテンツに対する輪郭・濃淡関数化および動き関数化の効率化を進めることで、MPEG などに代わる低容量・高精細な映像圧縮システムの構築が進展した。

VI アニメーション制作システムの開発

フルーエンシ理論に基づくマルチメディア情報システムの最大の特徴である共通記述形式という利点を生かして、音響、印刷・静止画、映像・動画の各技術を融合させる一つの実証例として、アニメーション制作システムが挙げられる。当プロジェクトはその構築を進め一定段階のシステムを完成させた。当システムは、これまでに開発されたフルーエンシ関数近似モジュールを結集することで、映像・動画処理において MPEG2 と比較して同等以上の画質を保ちながらはるかに少ないデータ量でのアニメーションコンテンツ記述を実現した。図 60 はこのシステムの構成を示す。

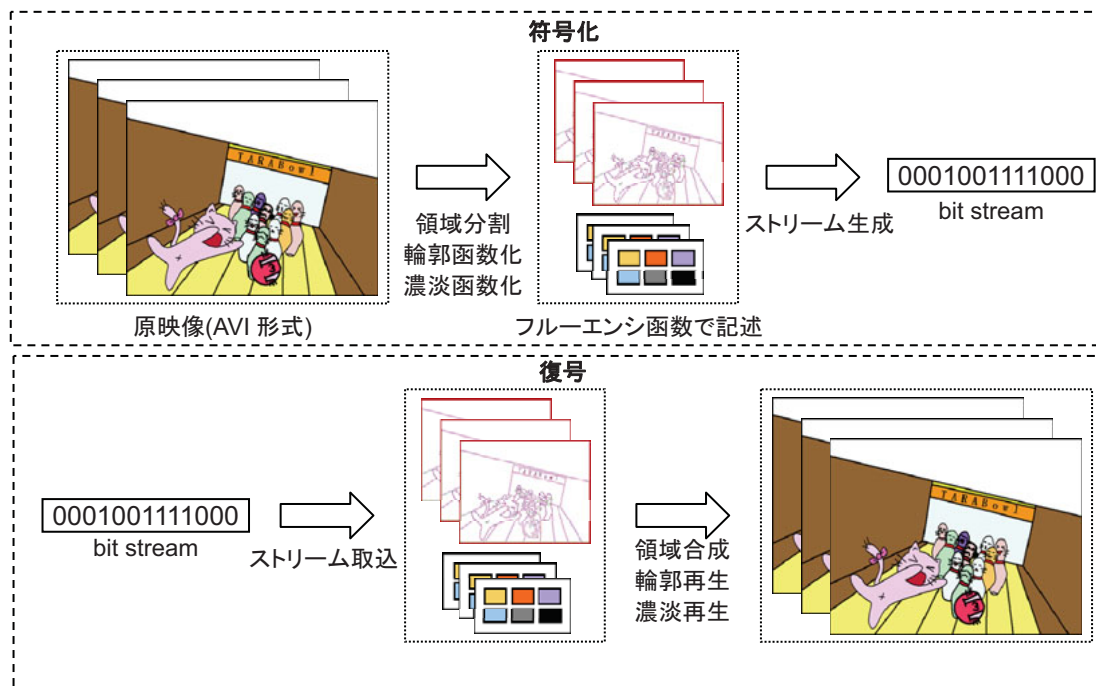


図 60 アニメーション圧縮システムの構成

符号化プロセスでは、まず映像・動画シーケンスが領域分割され、分割された領域はそれぞれに輪郭・濃淡関数によって近似される。そして、関数化された輪郭・濃淡情報はビットストリームとして記述される。復号プロセスは符号化プロセスの逆処理を行う。アニメーション制作システムのシグナルフローは図 54 における前処理、領域分割、輪郭・濃淡関数近似の処理に対応している。

従来方式によるアニメーションコンテンツのリサイズにおいては、入力映像・動画の中から本来の画像成分とジャギーのようなノイズとを自動的に判別することが難しいという問題があった。当システムは、フルーエンシ関数を用いることによって、映像・動画ノイズから生じる関数化誤差をある程度抑えられた。

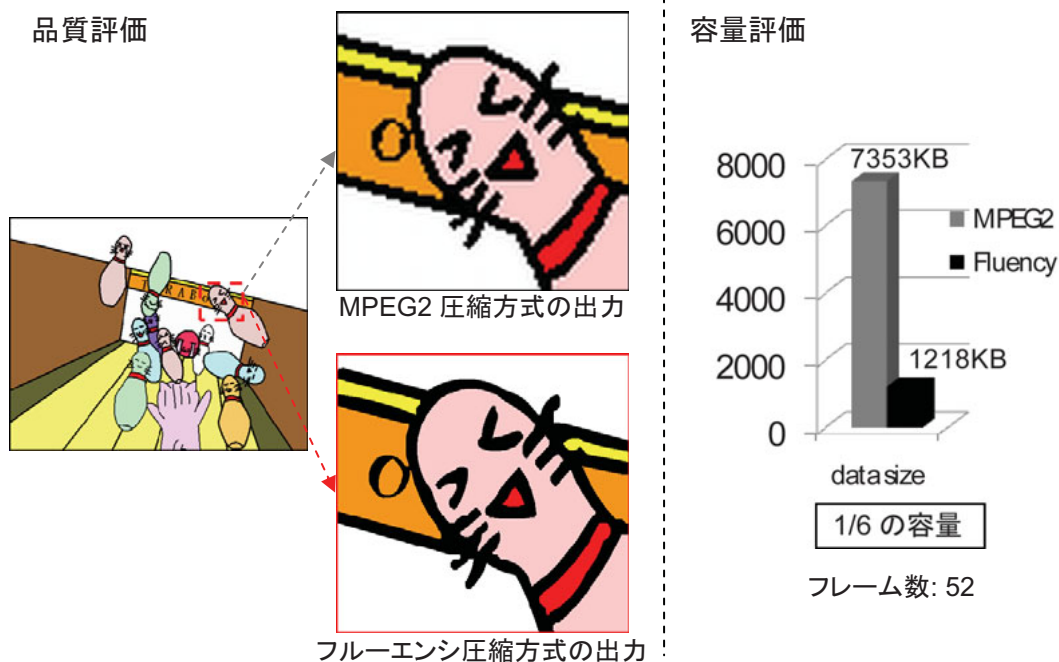


図 61 アニメーション圧縮システムの性能評価

図 61 は当アニメーション圧縮システムの品質・容量に関する評価を示す。図 61 左にあるように、フルエンシ記述方式を用いることでジャギーの発生が抑えられており、MPEG2 と比較して画質が大きく改善されているのは明らかである。また、コンテンツの内容によって圧縮率は変動するが、この例においては記述データ量が MPEG2 の 1/6 と圧倒的に小さい。このように、当アニメーション圧縮システムは画質・容量の両面において MPEG2 より優れており、実用レベルに適うことが立証された。

(2)研究成果の今後期待される効果

これらの研究成果は、フルエンシ情報理論の深化に関するものと、同理論に基づく要素技術・実証システムに大別される。情報理論に基づく共通記述形式の確立は、実証システムに裏打ちされ、今後の多種多様なマルチメディア技術の基礎を函数近似に置くことの有効性を示した。新たな情報理論の確立は、当研究室の成果のみならず、その拡がりによりマルチメディア技術の前進に大きな効果を持つものと考えられる。

Shannon による古典的情報理論は、正則函数をベースに構成されている。我々はそれを、非正則函数を含む超函数へ拡張することによって、現実のマルチメディア信号を柔軟に表現することを可能とした。その超函数論としても、 C^∞ かつどんなべき乗よりも減衰が速い函数クラス(Schwartz クラス)を定義域とする古典的な Schwartz 緩増加超函数の理論では、マルチメディア信号の本質を語るができない。 D^N という、 N 回のみ微分可能でべき乗オーダーの減衰を持つような函数クラスを定義域とすることにより、区分的多項式とその特異点をベースとする「柔軟な(Shannon 情報理論での正則函数ほど限定的でなく)」「ちょうど良い(Schwartz クラスほど制約が強すぎない)」情報理論の枠組みが構成された。Schwartz 超函数論では共役空間は一般化され過ぎた超函数空間であったが、 D^N の共役空間はそれを制約できる。この枠組みによる共通記述形式では、輪郭や濃淡等の函数近似において最適なものを適用できるようになった。

それにより、音響高精細化研究ではテーラーメイドオーディオシステムの構築を、周波数 100KHz までフラットな特性を持つ FPGA 音響シミュレータによる検証を行いつつ、展開した。音響高圧縮化研究では、従来 MP3 を凌ぐ圧縮形式が実現へ向けて進展した。印刷では高精細・スケーラブルな函数近似システムにより、新しい DTP システムが実証段階に到達した。映像・動画では、アニメーション圧縮システムをメインとして MPEG2 を越える映像・動画圧縮システムがほぼ実現できており、MPEG2 よりジャギーもデータ量も少ないシステムとなった。

当プロジェクトでは、以上のようにマルチメディア信号記述において、函数近似の果たす役割は大きいことを示してきたが、これら技術の拡がりや、また新たな技術革新を呼ぶものと期待している。

個別の分野における今後の展望に目を移せば、理論分野においては、当プロジェクトにより得られたフルエンシ情報理論が、理論 Ver.2 でのさらなる深化を経て Post-Shannon の情報理論として確立することが期待される。それは、適応的な函数近似における二つの方向性としての、情報メディア超函数による信号空間の記述、そしてパターン認識等の技術を取り入れた確定論的・確率論的函数近似の融合によりなされるものである。この定式化の深化により、各応用に向けたマルチメディア共通記述がより高精細・高圧縮な符号化形式として発展していくことが期待される。

音響分野においては、高精細化研究の目標に掲げているテーラーメイドオーディオの実現に向けた第一歩として、高周波数成分を引き出す特性に優れた E-type 標準化函数の実用化が近いうちに可能であると考えられる。また、高圧縮化研究においては、要素モジュールの高性能化によって、従来 MP3 と同容量でそれ以上の音質を実現するフルエンシ音響圧縮符号方式の実現が間近である。

印刷・静止画分野においては、最終目標とする次世代フルエンシ DTP システムの中心に据えられるのは輪郭・濃淡函数近似である。これまでに培った輪郭・濃淡函数近似のノ

ウハウをイラストなどの単純な画像に限らず、今後自然画像にまで適用できるように拡張する。さらに、画像の特性に合わせた最適な函数化処理の、全自動による選択を可能にするために、パターン認識の技術を取り入れて自動分類の精度をより一層上げる。こうした個々のカラーモジュールの機能を高め、様々な応用システムを通して実証することで、最終的には新しい世界基準となる次世代 **DTP** システムの完成を目指す。

映像・動画分野では、高精細化研究において、時間・空間における情報の連続性を利用して離散情報を補間し、映像・動画の高品質解像度変換、高フレームレート化を行う要素技術の開発に成功しており、これらの高性能化によって実システムへの応用が期待される。高圧縮化研究においては、輪郭・濃淡をフルーエンシ函数で記述することで、アニメーション圧縮システムを構築した。今後は、函数化技術において、フレーム内・フレーム間の濃淡分布函数化の改善を行い、時間・空間方向における映像・動画の函数表現の効率化を図ることで、アニメーションだけではなく、一般的な映像コンテンツを圧縮できるフルーエンシ映像・動画圧縮システムの構築を目指す。

4 研究参加者

① 筑波大学寅市グループ(フルーエンシ情報理論とマルチメディア記述形式の研究)

氏 名	参加時所属	参加時役職 (現職)	研究項目	参加時期
寅市 和男	筑波大学 システム情報工学研究科	教授 (特任教授)	プロジェクトリーダー フルーエンシ理論	H14.11～H20.3
和田 耕一	筑波大学 システム情報工学研究科	教授	LSI 化技術	H14.11～H20.3
片岸 一起	筑波大学 システム情報工学研究科	助教授 (准教授)	理論	H14.11～H20.3
大津 展之	産業技術総合研究所	フェロー	全般、画像認識	H14.11～H20.3
亀山 啓輔	筑波大学コンピュータサイエ ンス研究科	講師 (准教授)	画像応用	H14.11～H19.3
中村 浩二	筑波大学 (現在 警視庁科捜研)	助手 (主査)	応用技術全般	H14.11～H17.3
Kwan Paul Wing Hing	筑波大学 システム情報工学研究科	CREST 研究員	静止画応用	H14.11～H16.8
Adrian Vasilache	筑波大学 システム情報工学研究科	CREST 研究員	通信応用	H15.4～H16.3
袁 浩	筑波大学 システム情報工学研究科	産学官連携研究 員	画像応用	H15.8～H16.3
太田 祐介	筑波大学	CREST 研究補助 員	音響応用	H15.4～H16.5
河辺 徹	筑波大学 システム情報工学研究科	助教授	理論	H15.6～H19.3
杉本 武士	筑波大学大学院博士課程 システム情報工学研究科	学生	音響応用	H15.6～H17.3
河副 文夫	筑波大学大学院博士課程 システム情報工学研究科	学生	画像、図形応用	H15.6～H16.3
諸岡 泰男	筑波大学 先端学際領域研究センター	産学連携研究員 [都市エリア事業]	知財化	H15.8～H20.3
村上 仁己	KDDI(株) (現在 成蹊大)	執行役員 (教授)	画像応用、技術評 価	H15.8～H20.3
石川 幸子	筑波大学 先端学際領域研究センター	CREST 技術員	渉外	H15.9～H17.3
松本 修一	(株)KDDI 研究所	取締役	映像応用	H15.11～H19.3
斉藤 浩	九州大学先端科学技術共同 研究センター	教授	技術評価	H15.11～H16.3
柳 熙泛	筑波大学 先端学際領域研究センター	講師 非常勤研究員	映像応用	H15.1～H16.10
永井 信夫	北星学園大学	教授	医療応用	H16.2～H16.3
大宮 康宏	筑波大学 先端学際領域研究センター	産学連携研究員 [都市エリア事業]	画像応用	H16.4～H20.3
湯沢 泰生	筑波大学 先端学際領域研究センター	講師 非常勤研究員	理論	H16.4～H17.4
林口 治	(前)日本電気精器技術本部 長・取締役	産学連携研究員	渉外	H16.7～H17.3
Pethuru Raj Chelliah	筑波大学 システム情報工学研究科	産学連携研究員 [都市エリア事業]	画像応用	H16.11～H17.3
Jaykumar Choudhary	筑波大学 システム情報工学研究科	産学連携研究員 [総務省 PJ]	音響応用	H16.12～H17.3
三浦 康之	筑波大学 先端学際領域研究センター	CREST 研究員	映像応用	H17.1～H18.3

紙名 哲生	筑波大学 先端学際領域研究センター	CREST 研究員	画像応用	H17.4～H18.3
杉山 哲男	筑波大学 先端学際領域研究センター	講師 非常勤研究員	画像応用、ソフト	H17.4～H18.3
樋口 政和	筑波大学 先端学際領域研究センター	CREST 研究員	音響応用	H17.4～H20.3
寅市 陽子	筑波大学 先端学際領域研究センター	事務職員	事務	H17.4～H20.3
ISLAM Mohammad Tanvir	筑波大学 先端学際領域研究センター	CREST 研究員	画像	H17.5～H17.5
武 徳安	筑波大学 先端学際領域研究センター	産学連携研究員 (CREST 研究員)	映像応用、研究纏	H17.6～H20.3
川崎 秀二	筑波大学 先端学際領域研究センター	産学連携研究員 (CREST 研究員)	理論、音響応用	H17.9～H20.3
森崎 巧一	筑波大学 システム情報工学研究科	産学連携研究員 [都市エリア事業]	心理評価	H17.10～H18.3
丹羽 美由紀	筑波大学 先端学際領域研究センター	CREST 研究員／ 筑波大学助手	理論	H17.11～H19.3
野口 直子	筑波大学システム情報工学 等支援室	事務職員	事務	H17.11～H19.1
尾形 哲志	筑波大学 先端学際領域研究センター	専門技術員 [都市エリア事業]	広報、渉外	H18.4～H20.3
小谷 誠	東京電機大学	教授	生理学実験評価	H18.4～H20.3
田中 慶太	東京電機大学	助手	生理学実験評価	H18.4～H20.3
李 佳	筑波大学 先端学際領域研究センター	CREST 研究員	画像応用	H18.8～H20.3
Jonah Gamba	筑波大学 先端学際領域研究センター	CREST 研究員	映像応用	H18.4～H20.3
関田 巖	筑波技術大学	教授	応用システム	H18.5～H20.3
中村 光晃	筑波大学 先端学際領域研究センター	非常勤講師 (CREST 研究員)	音響応用	H18.8～H20.3
早川 健介	筑波大学 先端学際領域研究センター	CREST 研究補助 員	音響応用	H18.6～H20.3

5 招聘した研究者等

氏 名(所属、役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Kin F. Li (カナダ・ビクトリア大学、教授)	フルーエンシ理論	筑波大学	2004.2.3
佐藤 誠 (東京工業大学、教授)	映像メディア技術	—	2006. 4.1～ 2007. 3.31

6 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内誌 7件、国際誌 8件)

- 寅市 和男, 河副 文夫, 中村 浩二, 杉山 哲男, 和田 耕一, D.T.P. へのフルーエンシ函数近似化手法., 日本印刷学会誌, vol.39, no.3, pp.169-179 (May 2002).
- Kazuo TORAICHI, Paul Wing Hing KWAN, Kazuki KATAGISHI, Tetsuo SUGIYAMA, Koichi WADA, Mitsuru MITSUMOTO, Hiroyasu NAKAI, and Fumito YOSHIKAWA, On a Fluency Image Coding System for Beef Marbling Evaluation. Pattern Recognition Letters, vol.23, no.11, pp.1277-1291 (September 2002).
- Keisuke KAMEYAMA, Kazuo TORAICHI, and Yukio KOSUGI, Constructive Relaxation

- Matching Involving Dynamical Model Switching and its Application to Shape Matching, International Journal of Image and Graphics (World Scientific), Special issue on soft computing in image processing, vol.2, no.4, pp.655-668, (October 2002).
4. Paul Wing Hing KWAN, Keisuke KAMEYAMA and Kazuo TORAICHI, On a Relaxation-Labeling Algorithm for Real-time Contour-based Image Similarity Retrieval, Image and Vision Computing Journal (March 2003).
 5. 寅市和男, 中村浩二, DVD-Audio用二次の標本化関数, 電気学会論文誌, Vol.123-C, No.5, pp.928-937 (May 2003).
 6. 河副文夫, 寅市和男, 中村浩二, Paul Wing Hing KWAN, フルーエンシ関数系による細線画像の関数近似, 画像電子学会誌, Vol.32, No.4, pp.438-445 (July 2003).
 7. T. Sugiyama, Kwan P. W. H., K. Toraichi and K. Katagishi, A Contour Tracing Algorithm that Avoids Duplicate Tracing Common Boundaries between Regions, The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan, Vol.33, No.4-B, pp.586-596 (August 2004).
 8. 中村浩二, 河辺徹, 片岸一起, 寅市和男, 夏広諄, スプライン関数で表される入力信号をもつ状態関数空間の標本化基底の導出, 電気学会論文誌, C 分冊, Vol.124, No.10, pp.2101-2107 (October 2004).
 9. 高橋知幸, 河辺徹, 中村浩二, 寅市和男, 片岸一起, 大津展之, 不均等間隔標本補間に対する標本化関数, 電気学会論文誌, C 分冊, 第125, 第7号, 1093-1100 頁 (July 2005).
 10. Kai Sheng, Keisuke Kameyama, Kazuo Toraichi, Yoshinori Mitamura, Kazuki Katagishi, Yasuo Morooka and Yasuhiro Ohmiya, A Shape-Directed Scaling Method for Fundus Image with Maintenance to Blood-Vessel Shapes and Color Reality, IEEJ Trans. EIS, Vol.125-C, No.9, pp.1399-1407 (September 2005).
 11. Takuto MOTOYAMA, Tohru KAWABE, Kazuo TORAICHI and Kazuki KATAGISHI, New Integrated Design Approach of RHC with Adaptive DA Converter, WSEAS (World Scientific and Engineering Academy and Society) Transactions on Systems, Issue 5, Vol.5, pp.981-988 (May 2006).
 12. 大宮康宏, 寅市和男, 三浦康之, 喜多村守, 岡本明, 和田耕一, 亀山啓輔, 諸岡泰男, フルーエンシ補間による TV 映像高精細化処理のハードウェア実装法, 映像情報メディア学会誌, pp.1042-1050 (July 2006).
 13. KEISUKE KAMEYAMA, SOO-NYOUN KIM, MICHITERU SUZUKI, KAZUO TORAICHI and TAKASHI YAMAMOTO, Content-Based Image Retrieval of Kaou Images by Relaxation Matching of Region Features, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, Vol.14, No.4, pp.509-523 (August 2006).
 14. G. Sha, Tohru Kawabe, Kazuo Toraichi, Kazuki Katagishi and Koji Nakamura, A New Approach to Discrete Approximation of a Continuous-time System Model Based on Spline Function, Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering, Vol.5, No.3, pp.179-188 (October 2006).
 15. 岡 望実, 亀山啓輔, 寅市和男, 画像の内容検索における類似度評価アルゴリズムの利用者フィードバックを用いた最適化, 日本知能情報ファジィ学会誌特集号, Vol.19, No.5, pp.524-536 (October 2007)

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 寅市和男, 世界に挑戦する日本の先端技術(マルチメディアの圧縮・再生技術で世界へ), (独)科学技術振興機構 JST News Vol.3/No.11, 2007/2月号
2. 寅市和男, Towards the Defacto-standard of Multimedia Systems, (独)日本学術振興会サンフランシスコ研究連絡センター 英文ニューズレター2006/9月号
3. 寅市和男, フルーエンシ: 理論から応用まで, 筑波大学システム情報工学研究科リスク工学専攻紀要, vol.2 (Mar. 2006)
4. 寅市和男, フルーエンシ情報理論応用マルチメディアシステム, 筑波大学

(3)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

- ① 招待講演 (国内会議 12 件、国際会議 1 件)
- 1) 寅市和男:「高精細・スケーラブルなフルーエンシ符号化方式ー日本発の世界標準を目指してー」、画像電子学会, Advanced Image Seminar 2004、(2004. 4. 23)
 - 2) TORAICHI Kazuo: Invited Session 「Fluency Information Theory and Its Applications to Multimedia」、International Institute of Informatics and Systemics, International Conference on Coomputing , Communications and Control Technologies 2004、(2004. 8. 15)
 - 3) 寅市和男: 第 43 回二ノ宮ハウスイブリングフォーラム「Approaching Human Sensibility -Fluency Information Theory and Its Multimedia Applications-」二ノ宮ハウス、(2005. 9. 16)
 - 4) 寅市和男: 生演奏に迫るデジタルサウンド、第 21 回 NICOGRAPH (芸術科学会)、(2005. 11. 11)
 - 5) 寅市和男: 井上春成賞受賞記念講演「フルーエンシ情報理論とマルチメディアシステムへの展開」、筑波研究学園都市エリアプロジェクト、(2005. 11. 18)
 - 6) 寅市和男: 第 16 回 u-Japan クローズアップセミナー「超解像度医療画像の記述・配信・提示用フルーエンシ技術」、近畿総合通信局, 近畿情報通信協議会, 近畿次世代超高速ネットワーク推進協議会、(2006. 3. 1)
 - 7) 寅市和男: イノベーション・ジャパン 2006 新技術説明会「フルーエンシ理論によるマルチメディアの符号化・復号技術」、イノベーション・ジャパン 2006、(2006. 9. 14)
 - 8) 寅市和男: フルーエンシをマルチメディアの世界標準に、東京電機大学 ME 会、(2006. 10. 4)
 - 9) 寅市和男: フルーエンシ情報理論とマルチメディアシステム、超音波応用懇談会第 7 5 回定例会、(2006. 10. 13)
 - 10) 寅市和男: フルーエンシオーディオ: 超音波は音波、芸術科学会 NICOGRAPH2006、(2006. 12. 6)
 - 11) 寅市和男: モバイルマルチメディアの高品質・高圧縮技術の開発、平成 18 年度都市エリア産学官連携推進事業(発展型)研究成果発表会、(2007. 2. 9)
 - 12) 寅市和男: CD でなぜ癒されないかー音・音楽そして脳の働きー、京都健康フォーラム、(2007. 3. 24)
 - 13) 寅市和男: フルーエンシ理論とマルチメディア応用システム、新技術説明会(2007. 10. 17)
- ②口頭発表(査読付) (国内会議 0件、国際会議 43件)
- 1) Keisuke KAMEYAMA, Kazuo TORAICHI, and Yukio KOSUGI, Relaxation with Model Switching and Its Application to Shape Matching., Proceedings of the 2002 International Joint Conference on Neural Networks, pp.1564-1569 (May 2002).
 - 2) Paul Wing Hing KWAN, Kazuo TORAICHI, and Keisuke KAMEYAMA, Fumio Kawazoe, and Koji Nakamura, TAST - Trademark Application Assistant., Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing 2002, Rochester, New York, USA, vol. I, pp.884-887 (September 2002).
 - 3) Fumio KAWAZOE Kazuo TORAICHI, and Paul Wing Hing KWAN, and Koji Nakamura, A Publishing System Based on Fluency Coding Method., Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing 2002, Rochester, New York, USA, vol. I, pp. 649-652 (September 2002).
 - 4) Koji NAKAMURA, Kazuo TORAICHI, A Function Generator Based on Compactly Supported Sampling Function of Degree 2., Proceedings of the IASTED International Conference on Intelligent Systems and Control (ISC2002), Tsukuba, Japan, pp.110-114 (October 2002).
 - 5) Paul Wing Hing KWAN, Kazuo TORAICHI, Koichi WADA, and Keisuke KAMEYAMA, A Dispatcher-driven Processing Architecture for Image Retrieval using

- Clustered Relaxation Matching Servers., Proceedings of the IASTED International Conference on Networks, Parallel and Distributed Processing, and Applications (NPDPA2002), Tsukuba, Japan, pp.211-216 (October 2002).
- 6) Kazuki KATAGISHI, Toshiki NISHIOKA, Thoru ASAMI, Hitomi MURAKAMI, Kazuo TORAI CHI and Yasuhiro OHMIYA., Evaluation for Practicality of a Long Distance and High Speed Fixed Wireless Access(22GHz band, 6.3Mbit/s) system, Proceedings of the International Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA2002), Xian, RPC, pp.379-382 (October 2002).
 - 7) Shinpei CHIHARA, Kazuki KATAGISHI, Thoru ASAMI, Hitomi MURAKAMI and Kazuo TORAI CHI, PGP-based Security Enhanced Mail Gateway for a Large-scale Organization., Proceedings of the International Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA2002), Xian, RPC, pp.467-470 (October 2002).
 - 8) Fumio KAWAZOE, Kazuo TORAI CHI, Paul Wing Hing KWAN, and Koichi WADA, A Method on Tracking Unit Pixel Width Line Segments for Function Approximation-based Image Coding., Proceedings of the 3rd IEEE Pacific Rim-Conference on Multimedia 2002 (PCM2002), Hsinchu, Taiwan, pp.502-509 (December 2002).
 - 9) Koji NAKAMURA, Kazuo TORAI CHI, Kazuki KATAGISHI, Kenji SAYANO, Akirar OKAMOTO, and Yukio KOYANAGI, A Design Method for Compactly Supported Sampling Function Generator., Proceedings of the 3rd IEEE Pacific Rim-Conference on Multimedia 2002 (PCM2002), Hsinchu, Taiwan, pp.409-416 (December 2002).
 - 10) Tomoyuki TAKAHASHI, Kazuo TORAI CHI, Keisuke KAMEYAMA, and Koji NAKAMURA, A Smooth Interpolation Method For Nonuniform Samples Based on Sampling Functions Composed of Piecewise Polynomials., Proceedings of the 3rd IEEE Pacific Rim-Conference on Multimedia 2002 (PCM2002), Hsinchu, Taiwan, pp.417-424 (December 2002).
 - 11) Kazuki KATAGISHI, Adrian VASILACHE, Tohru ASAMI, Hitomi MURAKAMI, and Kazuo TORAI CHI, A Switchover Method for a Long Distance Fixed Wireless Access (22GHz band, 6.3Mbits/s) Link., Proceedings of 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, pp.466-469 (August 2003).
 - 12) Yasuhiro Ohmiya, Kazuki KATAGISHI, Tohru ASAMI, Hitomi MURAKAMI, and Kazuo TORAI CHI, An Estimation Method of Working for a Long Distance Fixed Wireless Access(22GHz band, 6.3Mbit/s) Link., Proceedings of 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, pp.268-271 (August 2003).
 - 13) Shinpei Chihara, Kazuki KATAGISHI, Tohru ASAMI, Kazuo TORAI CHI, and Hitomi MURAKAMI, PGP-Based Security Enhanced Mail Gatewan (SEMAIL) with POP Authentication to Protect Spooling by Inside Sender for a Large-Scale Organization, Proceedings of 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, pp.696-699 (August 2003).
 - 14) Sheng KAI, Kazuki KATAGISHI, Kazuo TORAI CHI, Yoshinori MITAMURA, Hitomi MURAKAMI, Atsushi KOIKE, and Tohru ASAMI, Two-variables Compactly Supported Fluency Sampling Functions-Based Scalable Resolution Conversion for Fundus Photograph., Proceedings of 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, pp.1020-1023 (August 2003).
 - 15) Tetsuo SUGIYAMA, Paul Wing Hing KWAN, Kazuo TORAI CHI, and Kazuki KATAGISHI, A Method on Tracking Common Boundaries of Color Regions in Function Approximation-based Image Coding., Proceedings of 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, pp.852-855 (August 2003).
 - 16) Koji NAKAMURA, Kazuo TORAI CHI, Kazuki KATAGISHI, Yukio KOYANAGI, and Akira OKAMOTO, Design of FIR Filter with Smaller Number of Coefficients based on Compactly Supported Fluency Sampling Functions., Proceedings of 2003 IEEE

- Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, pp.256-259 (August 2003).
- 17) Soo-Nyoun KIM, Michiteru SUZUKI, Keisuke KAMEYAMA, Kazuo TORAI CHI, and Takashi YAMAMOTO, A System for Content-Retrieval and Browsing of Kaou Monogram Images using Contour and Color Characteristics., Proceedings of 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, pp.844-847 (August 2003).
 - 18) Fumio KAWAZOE, Kazuo TORAI CHI, and Paul Wing Hing KWAN, A New Method on Asiging Function Types to Line Segments for Function Approximation-based Image Coding, Proceedings of 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, pp.856-859 (August 2003).
 - 19) Kei TAGA, Keisuke KAMEYAMA and Kazuo TORAI CHI, Regularization of Hidden Layer Unit Response for Neural Networks., Proceedings of 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, pp.348-351 (August 2003).
 - 20) Hironori AOKAGE, Koichi WADA and Kazuo TORAI CHI, High Quality Conversion of Image Resolution Using Two-Dimensional Sampling Function, Proceedings of 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, pp.720-723 (August 2003).
 - 21) Paul Wing Hing KWAN, Kazuo TORAI CHI, Hiroyuki KITAGAWA and Keisuke KAMEYAMA, Approximate Query Processing for a Content-Based Image Retrieval Method., In: V. Marik et al. (Eds.): DEXA 2003, LNCS 2736, pp.517-526, (August 2003). Springer-Verlag B.H. 2003.
 - 22) Kazuki KATAGISHI, Koji NAKAMURA and Kazuo TORAI CHI, Fluency AD operator as generalized Mother Wavelets., Proceedings of the International Conference on Computing Communications and Control Technologies 2004, Texas, US, Vol.III, pp.1-6 (August 2004).
 - 23) Koji NAKAMURA, Heeburm RYU, Kazuki KATAGISHI, Tohru KAWABE, Kazuo TORAI CHI, Akira OKAMOTO and Yukio KOYANAGI, A Method of Designing FIR Filter with Linear Phase and Small Number of Coefficients by Fluency Sampling Function, Proceedings of the International Conference on Computing Communications and Control Technologies 2004, Texas, US, Vol. III, pp.24-29 (August 2004).
 - 24) Tohru KAWABE, Koji NAKAMURA, Kazuki KATAGISHI and Kazuo TORAI CHI, Sampling Bases in State Functional Space with Input Signals Composed by Piecewise Polynomials, Proceedings of the International Conference on Computing Communications and Control Technologies 2004, Texas, US, Vol. III, pp.19-23 (August 2004).
 - 25) Yasuhiro OHMIYA, Kazuki KATAGISHI, Paul Wing Hing KWAN, Keisuke KAMEYAMA Kazuo TORAI CHI, Atsushi MATSUMURA, Ryoichi KAWADA, Atsushi KOIKE, Shuichi MATSUMOTO and Hitomi MURAKAMI, A Method for High Precision Enlargement of Pictures taken by Cellular Phone on Personal Computer., Proceedings of the International Conference on Computing Communications and Control Technologies 2004, Texas, US, Vol. III, pp.30-35 (August 2004)
 - 26) Keisuke KAMEYAMA, Paul Wing Hing KWAN, Fumio KAWAZOE, Atsushi FUJII, Kentaro MIYAMOTO and Kazuo TORAI CHI, Automatic Road Map Encoding by Fluency Function Approximation of Thin Line Images., Proceedings of the International Conference on Computing Communications and Control Technologies 2004, Texas, US, Vol. III, pp.7-12 (August 2004).
 - 27) Paul Wing Hing KWAN, Tohru KAWABE, Keisuke KAMEYAMA, Kazuo TORAI CHI, Koichi WADA and Nobuyuki OTSU, Content-based Retrieval for A Database of Function Approximated Kamon Images., Proceedings of the International Conference on Computing Communications and Control Technologies 2004, Texas, US, Vol. III, pp.13-18 (August 2004).
 - 28) Heeburm RYU, Koji NAKAMURA, Kazuo TORAI CHI, Paul Wing Hing KWAN, Yasuo MOROOKA and Koichi WADA, High Precision and High Speed TV Picture Quality

- Enhancement Method based on Compactly Supported Fluency Sampling Function., Proceedings of the International Conference on Computing Communications and Control Technologies 2004, Texas, US, Vol.III, pp.36-41 (August 2004).
- 29) Takeshi SUGIMOTO, Tohru KAWABE, Keisuke KAMEYAMA, Yasuo MOROOKA and Kazuo TORAICHI, Human Perception Model for Ultrasonic Difference Tones, Modelling, Identification and Control – MIC' 2005, Innsbruck, Austria, Vol., pp.519-524 (Feb 2005).
 - 30) Takayuki TACHIKAWA, Keisuke KAMEYAMA, Tohru KAWABE, Kazuo TORAICHI, Nobuyuki OTSU, Takio KURITA and Paul W. H. KWAN, Content-Based Retrieval of Kamon Images by Image Smoothing and Relaxation, Modelling, Identification and Control – MIC' 2005, Innsbruck, Austria, Vol., pp.422-427 (Feb 2005).
 - 31) Takuto MOTOYAMA, Tohru KAWABE, Koji NAKAMURA and Kazuo TORAICHI, A New Functional Approximation Modelling of Image Contours using the Nonuniform Fluency Sampling Function, Modelling, Identification and Control – MIC' 2005, Innsbruck, Austria, Vol., pp.410-415 (Feb 2005).
 - 32) Keisuke Kameyama, Soo-Nyoun Kim, Kazuo Toraichi, and Takashi Yamamoto, Content-Based Image Retrieval of Kaou Images by Region Characterization and Probabilistic Relaxation, MDAI' 05, Tsukuba, Japan (July 2005).
 - 33) Aatoshi Toriwa, Yasuo Morooka, Kazuo Toraichi, Yasuyuki Miura, Akira Okamoto and Mamoru Kitamura. A PROPOSAL OF REAL-TIME VIDEO SIMULATOR USING FPGA FOR MULTIMEDIA PROCESSING, Pacrim' 05, Victoria, Canada (August 2005).
 - 34) Sheng Kai, Kazuki Katagishi, Kazuo Toraichi Yoshinori Mitamura, Hitomi Murakami Atsushi Koike, Tohru Asami, Shape-Directed Fundus Image Scaling Method Applied on an Ophthalmology Cad System, Pacrim' 05, Victoria, Canada (August 2005).
 - 35) Kayoko Hirano, Keisuke Kameyama, Yasuhiro Ohmiya, Kazuo Toraichi, Image Enhancement Using Multiple Video Frames and Non-uniform Fluency Interpolation, The 4th IASTED International Conference on Communications, Internet and Information Technology (CIIT 2005), Cambridge, USA (October 2005).
 - 36) Atsushi FUJII, Keisuke KAMEYAMA, Tetsuo KAMINA, Yasuhiro OHMIYA, Kazuo TORAICHI, Image Resolution Conversion by Optimized Adaptation of Interpolation Kernels, The IASTED International Conference on SIGNAL PROCESSING, PATTERN RECOGNITION, AND APPLICATIONS –SPPRA 2006–, Innsbruck, Austria (February 2006).
 - 37) Kentaro Miyamoto, Tetsuo Kamina, Tetsuo Sugiyama, Keisuke Kameyama, Kazuo Toraichi, An Image Segmentation Method for Function Approximation of Gradation Images, The IASTED International Conference on SIGNAL PROCESSING, PATTERN RECOGNITION, AND APPLICATIONS –SPPRA 2006–, Innsbruck, Austria (February 2006).
 - 38) Kai Sheng, Keisuke Kameyama, Kazuki Katagishi, Kazuo Toraichi, Matched filter design by Fluency analysis for a more accurate fundus image blood-vessel extraction, The Fourth IASTED International Conference on biomedical engineering, Innsbruck, Austria (February 2006).
 - 39) T. Motoyama, T. Kawabe, K. Toraichi and K. Katagishi, “New Integrated Control Design Method based on Receding Horizon Control with Adaptive DA Converter” , Proc. of 8th WSEAS Int' l Conf. on Automatic Control, Modeling and Simulation (ACMOS' 06), Prague, Czech Republic, pp. 6-11 (March 2006).
 - 40) S. Kawasaki, M. Niwa, T. Kamina, D.-A. Wu, K. Kameyama, K. Katagishi, K. Toraichi, H. Murakami and M. Ohashi, “A Study on Formulation of the Ubiquitous Cloud Model” , 7th Int' l Conf. on Mobile Data Management (MDM' 06), 1st Workshop on Tools and Applications for Mobile Contents (TAMC), Nara, Japan, p. 148 (May 2006).
 - 41) M. Higuchi, S. Kawasaki, K. Kameyama, Y. Morooka and K. Toraichi, “Quality Improvement of MP3 Encoded Audio Reproduction using Fluency Locally

- Supported Sampling Function for Use in Cell Phones”, 7th Int’ l Conf. on Mobile Data Management (MDM’ 06), 1st Workshop on Tools and Applications for Mobile Contents (TAMC), Nara, Japan, p. 142 (May 2006).
- 42) K. Kameyama, N. Oka and K. Toraichi, “Optimal Parameter Selection in Image Similarity Evaluation Algorithms Using Particle Swarm Optimization”, 2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2006), Vancouver, Canada, pp. 3824-3831 (July 2006)
- 43) Takashi Mori, Keisuke Kameyama, Yasuhiro Ohmiya, Jia Lee, and Kazuo Toraichi, ” Image Resolution Conversion Based on an Edge-Adaptive Interpolation Kernel”, 2007 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, University of Victoria, pp497-500, (Aug. 2007)

③ポスター発表 (国内会議 23 件、国際会議 2 件)

< 国 内 >

- 1) 中小企業ビジネスフェア in Tokyo (東京)
「フルーエンシ情報理論応用マルチメディアシステム」TARA 展示責任者 (2002. 9)
- 2) テクノフェア 2002 in つくば (つくば)
「都市エリア産学官連携促進事業」筑波大学展示・実演責任者 (2002. 11)
- 3) 第 2 回 つくばテクノロジー・ショーケース (つくば)
「都市エリア産学官連携促進事業」筑波大学展示・実演責任者 (2003. 1)
- 4) 第 2 回産学公マッチング交流会 (つくば)
「主催：(財)東京都中小企業振興公社 大学発ベンチャーと日本人」 (2003. 9)
- 5) テクノフェア 2003 in つくば (つくば)
「都市エリア産学官連携促進事業」 (2003. 11)
- 6) 第 3 回 つくばテクノロジー・ショーケース (つくば)
「都市エリア産学官連携促進事業」 (2004. 1)
- 7) 2004 地域発先端テクノフェア (東京)
「都市エリア産学官連携促進事業」 (2004. 9)
- 8) テクノフェア 2004 in つくば (つくば)
「都市エリア産学官連携促進事業」 (2004. 10)
- 9) 第 1 回 CREST 公開シンポジウム (東京)
「科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業」 (2004. 12)
- 10) 第 4 回 つくばテクノロジー・ショーケース (つくば)
「都市エリア産学官連携促進事業」 (2005. 1)
- 11) 都市エリア産学官連携促進事業成果報告会 (つくば)
「次世代型マルチメディア情報の記述・配信・提示方法」 (2005. 3)
- 12) 総務省プロジェクト (SCOPE) 成果報告会 (東京)
「超解像度医療画像の記述・配信・提示技術の研究開発」 (2005. 6)
- 13) 重要情報基盤保護(CIIP)日米ワークショップ (東京)
発表タイトル: Secure Transmission for Fluency Images (2005. 6)
- 14) 井上春成賞授賞式 (東京)
「音響・映像用の高精細信号処理 IC 化技術」展示・実演責任者 (2005. 7)
- 15) イノベーション・ジャパン 2005 (東京)
「フルーエンシ情報理論とマルチメディア符号化への応用」 (2005. 9)
- 16) テクノフェア 2005 in つくば (つくば)
「都市エリア産学官連携促進事業」 (2005. 11)
- 17) 第 2 回 CREST 公開シンポジウム (東京)
「科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業」 (2005. 12)
- 18) 産学共同シーズイノベーション化事業研究発表会(東京)
フルーエンシ理論とマルチメディア応用システム(2006. 7)
- 19) いばらき産業大県フェア 2006(東京)
「フルーエンシ理論とマルチメディア応用システム」(2006. 7)
- 20) イノベーション・ジャパン 2006・大学見本市(東京)

- フルーエンシ理論とマルチメディア応用システム(2006. 9)
- 21) いばらきもの作り交流会 in つくば(つくば市)
フルーエンシ理論とマルチメディア応用システム(2006. 10)
- 22) イノベーション・ジャパン 2007・大学見本市(東京)
「フルーエンシ情報理論によるマルチメディアの統一的記述方法」(2007. 9)
- 23) International Graphic Arts Show(IGAS)2007 (東京)
「フルーエンシ理論とマルチメディア応用システム」(2007. 9)
- 24) 都市エリア促進事業 H19 年度成果発表会(東京)
「フルーエンシ理論とマルチメディア応用システム」(2008. 2)
- 25) 展示会場で研究者に会おう:日本科学未来館(東京)
「見えないものを見えるように! 聴こえない音を聴こえるように!」(2008. 3)

<国 外>

- 1) AUTM (Association of University Technology Managers) 2004 Annual Meeting
USA
「Fluency Information Theory and Its Application to Multimedia」
筑波大学展示・実演責任者 (2004 年 3 月)
- 2) International Institute of Informatics and Systemics, International
Conference on Computing, Communications and Control Technologies 2004(2004
年 8 月 15 日)

(4)特許出願

①国内出願 (59 件)

1. 発明の名称: 画像処理装置, 方法およびプログラム
発 明 者: 寅市和男, 和田耕一, 河副文夫, Kwan Wing Hing
出 願 人: 寅市和男, 和田耕一
出 願 番号: 2003-167750(2003. 06. 12)
2. 発明の名称: 画像処理装置
発 明 者: 寅市和男, 河副文夫, Kwan Wing Hing, 中村浩二, 諸岡泰男
出 願 人: (独) 科学技術振興機構
出 願 番号: 2003-303000(2003. 08. 27)
特 許 番号: 特許 3883993 号(2006. 11. 24)
3. 発明の名称: 信号処理方法及び装置
発 明 者: 寅市和男, 片岸一起, 中村浩二, 諸岡泰男
出 願 人: (独) 科学技術振興機構
出 願 番号: 2004-53525(2004. 02. 27)
特 許 番号: 特許 3805777 号(2006. 05. 19)
4. 発明の名称: 信号処理装置及び方法並びに信号処理プログラム及び同プログラム
を記録した記録媒体(AD)
発 明 者: 寅市和男, 片岸一起, 中村浩二, 諸岡泰男
出 願 人: (独) 科学技術振興機構
出 願 番号: 2004-58704(2004. 03. 03)→PCT 移行: W02005-86356
5. 発明の名称: 信号処理装置及び方法並びに信号処理プログラム及び同プログラム
を記録した記録媒体(DA)
発 明 者: 寅市和男, 片岸一起, 中村浩二, 諸岡泰男
出 願 人: (独) 科学技術振興機構
出 願 番号: 2004-58712(2004. 03. 03)→PCT 移行: W02005-86356
6. 発明の名称: 信号処理装置及び方法並びに信号処理プログラム及び同プログラム
を記録した記録媒体(切替)
発 明 者: 寅市和男, 片岸一起, 中村浩二, 諸岡泰男
出 願 人: (独) 科学技術振興機構
出 願 番号: 2004-132535(2004. 04. 28) →PCT 移行: W02005-86356
7. 発明の名称: 離散信号の信号処理装置及び方法

- 発 明 者：寅市和男，高橋知幸，河辺徹，片岸一起，中村浩二
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2004-218460(2004. 07. 27)
特 許 番号：特許 3808483 号(2006. 05. 26)
8. 発明の名称：デジタル画像の輪郭追跡による画像処理方法および画像処理装置
発 明 者：寅市和男，杉山哲男，Kwan Paul Wing Hing
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2004-207156(2004. 07. 14)
9. 発明の名称：信号処理装置，方法およびプログラム
発 明 者：寅市和男，袁浩，中村浩二
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2004-231091(2004. 08. 06)
10. 発明の名称：標本化関数発生装置及びデジタル-アナログ変換器
発 明 者：寅市和男，袁浩，中村浩二
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2004-231090(2004. 08. 06)
特 許 番号：特許 3920879 号(2007. 02. 23)
11. 発明の名称：類似画像検索装置、方法およびプログラム
発 明 者：寅市和男，Kwan Paul Wing Hing
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2004-309795(2004. 10. 25)
12. 発明の名称：類似画像検索装置、方法およびプログラム
発 明 者：寅市和男，Kwan Paul Wing Hing
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2004-380878(2004. 12. 28)
13. 発明の名称：指紋照合装置、方法およびプログラム
発 明 者：寅市和男，Kwan Paul Wing Hing，中村浩二，諸岡泰男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2005-150401(2005. 05. 24)
14. 発明の名称：指紋照合装置、方法およびプログラム
発 明 者：寅市和男，Kwan Paul Wing Hing，中村浩二，諸岡泰男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2005-150402(2005. 05. 24)
15. 発明の名称：指紋照合装置、方法およびプログラム
発 明 者：寅市和男，Kwan Paul Wing Hing，中村浩二，諸岡泰男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2005-150403(2005. 05. 24)
16. 発明の名称：画像配信システムおよび方法
発 明 者：寅市和男，石川幸子
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2005-150404(2005. 05. 24)
特 許 番号：特許 3961539 号(2007. 05. 25)
17. 発明の名称：文書処理装置、方法およびプログラム
発 明 者：寅市和男，諸岡泰男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2005-150405(2005. 05. 24)
18. 発明の名称：文書処理装置、方法およびプログラム
発 明 者：寅市和男，諸岡泰男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2005-150406(2005. 05. 24)
19. 発明の名称：指紋照合装置、方法およびプログラム
発 明 者：寅市和男，Kwan Paul Wing Hing，中村浩二，諸岡泰男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2005-190842(2005. 06. 30)
20. 発明の名称：印刷物製作システム

- 発 明 者：寅市和男，石川幸子
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：2005-328271 (2005. 11. 14)
(出願依頼中)
21. 発明の名称：画像処理装置及び方法(濃淡画像の2変数非分離処理装置及び方法)
発 明 者：寅市和男，李佳、大宮康宏
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
22. 発明の名称：信号処理装置及び方法(内積演算装置)
発 明 者：寅市和男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
23. 発明の名称：信号変換方法及び装置(可変特性型信号変換方法および装置)
発 明 者：寅市和男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
24. 発明の名称：信号変換方法及び装置(区分多項式標本化函数による離散信号の実時間補間装置及び方法)
発 明 者：寅市和男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
25. 発明の名称：画像処理方法及び装置(画像分割記述)
発 明 者：寅市和男，李佳
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
26. 発明の名称：画像処理方法及び装置(リサイズ方法)
発 明 者：寅市和男，李佳，大宮康宏
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
27. 発明の名称：画像処理方法及び装置(モバイル映像表示方法及び装置)
発 明 者：寅市和男，李佳，大宮康宏
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
28. 発明の名称：画像処理方法及び装置(エッジ付近の画像函数補間方法)
発 明 者：寅市和男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
29. 発明の名称：画像処理方法及び装置(区分多項式函数による濃淡画像の2変数処理装置および方法)
発 明 者：寅市和男，李佳，大宮康宏
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
30. 発明の名称：フィルタ(縦段スケーリング FIR フィルタ)
発 明 者：寅市和男，川崎秀二
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
31. 発明の名称：フィルタ(2次区分多項式函数による FIR フィルタ)
発 明 者：寅市和男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
32. 発明の名称：フィルタ(m次区分多項式函数による FIR フィルタ)
発 明 者：寅市和男，武徳安
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
33. 発明の名称：フィルタ(区分多項式函数の区間内分割値による FIR フィルタ)

- 発 明 者：寅市和男，諸岡泰男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
34. 発明の名称：音響信号処理方法及び装置
発 明 者：寅市和男，早川健介
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
35. 発明の名称：音響信号処理方法及び装置(デジタル音響装置)
発 明 者：寅市和男，武徳安，中村光晃
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
36. 発明の名称：信号処理方法及び装置(波形変換装置)
発 明 者：寅市和男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
37. 発明の名称：信号処理方法及び装置(区分 DA 多項式による適応的自動函数近似)
発 明 者：寅市和男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
38. 発明の名称：信号処理方法及び装置(オクターブ信号圧縮方法及び装置)
発 明 者：寅市和男，中村光晃
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
39. 発明の名称：信号処理方法及び装置(音響信号処理方法および装置)
発 明 者：寅市和男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
40. 発明の名称：信号処理方法及び装置(帯域自動分類方法及び装置)
発 明 者：寅市和男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
41. 発明の名称：画像処理方法および装置(非分離画像修整)
発 明 者：寅市和男，李佳，大宮康宏
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
42. 発明の名称：音響信号処理方法及び装置(聴覚特性適合)
発 明 者：寅市和男，中村光晃
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
43. 発明の名称：映像信号変換方法及び装置(フレームレート)
発 明 者：寅市和男，武徳安，J. Gamba
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
44. 発明の名称：映像信号変換方法及び装置(対応点推定)
発 明 者：寅市和男，武徳安，J. Gamba
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
45. 発明の名称：動画画像函数処理方法
発 明 者：寅市和男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：
46. 発明の名称：映像信号処理方法
発 明 者：寅市和男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：

47. 発明の名称：動画信号処理装置
発 明 者：寅市和男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出 願 番号：

②海外出願 (6 件)

1. 発明の名称：SIGNAL PROCESSING DEVICE AND METHOD, SIGNAL PROCESSING PROGRAM,
AND RECORDING MEDIUM WHERE THE PROGRAM IS RECORDED
発 明 者：寅市和男, 片岸一起, 中村浩二, 諸岡泰男
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出願申請国：日本、米国、独、英、仏、台、中国、韓国
国際出願番号：PCT/JP2005/003625 (2005. 03. 03)
2. 発明の名称：離散信号の信号処理装置及び信号処理方法
発 明 者：寅市和男, 高橋知幸, 河辺徹, 片岸一起, 中村浩二
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出願申請国：US, TW
国際出願番号：PCT/JP2005/013034 (2005. 07. 14)
3. 発明の名称：デジタル画像の輪郭追跡による画像処理方法および画像処理装置
発 明 者：寅市和男, 杉山哲男, Kwan Paul Wing Hing
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出願申請国：US, EU
国際出願番号：PCT/JP2005/013026 (2005. 07. 14)
4. 発明の名称：画像配信システムおよび方法
発 明 者：寅市和男, 石川幸子
出 願 人：(独) 科学技術振興機構
出願申請国：US, EU、中国、韓国、台湾
国際出願番号：PCT/JP2006/309479 (2006. 05. 11)

その他 2 件

(5)受賞等

①受賞

1. 江崎玲於奈 ベストティーチャー 賞 1995 年度
受賞者：寅市和男
2. 平成 15 年度日本印刷学会論文賞
受賞論文：“D. T. P. へのフルーエンシ函数近似化手法.” 日本印刷学会誌,
vol. 39, no. 3, pp. 169-179 (May 2002).
受賞者：寅市 和男, 河副 文夫, 中村 浩二, 杉山 哲男, 和田 耕一
3. 平成 15 年度印刷朝陽会賞
受賞論文 “D. T. P. へのフルーエンシ函数近似化手法.” 日本印刷学会誌,
vol. 39, no. 3, pp. 169-179 (May 2002).
受賞者：寅市 和男, 河副 文夫, 中村 浩二, 杉山 哲男, 和田 耕一
4. 第 4 回船井情報科学振興賞 2005 年 2 月
受賞者：寅市和男
5. 第 30 回井上春成賞 “音響・映像用の高精細信号処理 IC 化技術”
受賞者：寅市和男、池田毅(新潟精密) 2005 年 7 月 13 日

②新聞報道

1. 携帯電話用音質改善フルーエンシチップの開発に関する新聞記事、日本経済新聞
2004 年 11 月 16 日(火)
2. TV 用画質改善 IC チップの開発に関する新聞記事
2-1. 日経産業新聞 2003 年 6 月 26 日(木)

- 2-2. 日経産業新聞 2004 年 11 月 5 日(金)
- 3. Fluency DTP System に関する新聞記事
 - 3-1. 読売新聞 2005 年 11 月 15 日(火)
 - 3-2. 毎日新聞 2005 年 11 月 16 日(水)
 - 3-3. 日刊工業新聞 2005 年 11 月 24 日(木)
- 4. Fluency 技術に関する新聞記事
 - 4-1. 科学新聞 2005 年 12 月 23 日(金)
- 5. マルチメディア共通記述形式に関する新聞記事
 - 5-1. 日刊工業新聞(32 面)2007 年 6 月 20 日(水)
 - 5-2. 日経産業新聞(11 面) 2007 年 6 月 20 日(水)
 - 5-3. 茨城新聞(20 面) 2007 年 6 月 20 日(水)
 - 5-4. 常陽新聞(1 面) 2007 年 6 月 20 日(水)

③その他

- 1. 画質改善処理に関する TV 報道
 - 日本テレビ「バンキシャ!」 2004 年 11 月 28 日(日)
- 2. マルチメディア共通記述形式の TV 報道
 - NHK 総合茨城地域地上デジタル 2007 年 6 月 19 日(火)PM6:10「いばらき わいわいスタジオ」
- 3. マルチメディア共通記述形式の TV 報道
 - NHK 総合茨城地域地上デジタル 2007 年 6 月 19 日(火)PM8:45「ニュース 845」
- 4. ニュース用ビデオ映像の高解像度化
 - 日本テレビ「ニュース ZERO」2007 年 12 月 20 日(木)

(6)その他特記事項

研究成果に基づいて開発された製品

- 1. 商品名：フルーエンシ DA コンバータ DA-07
企業名：ラックスマン(株)
- 2. 商品名：フルーエンシ CD 用 DA コンバータ FN1241
企業名：新潟精密(株)
- 3. 商品名：フルーエンシ DVD 用 DAC FN1242
企業名：新潟精密(株)
- 4. 商品名：フルーエンシ DAC 搭載 CD プレーヤ FCD1241
企業名：新潟精密(株)
- 5. 商品名：フルーエンシ DAC 搭載 CD プレーヤ VRDS-50
企業名：ティアック(株)
- 6. 商品名：フルーエンシ DAC 搭載 DVD プレーヤ DU-10
企業名：ラックスマン(株)
- 7. 商品名：CD 用フルーエンシ DAC D-70
企業名：ティアック(株)
- 8. 商品名：フルーエンシ DAC 搭載 CD トランスポータ P-70
企業名：ティアック(株)
- 9. 商品名：フルーエンシ DAC 搭載 DVD プレーヤ ESOTERIC X-30
企業名：ティアック(株)
- 10. 商品名：フルーエンシ DAC 搭載 DVD プレーヤ ESOTERIC DV-50
企業名：ティアック(株)
- 11. 商品名：フルーエンシ DAC 搭載 CD プレーヤ ESOTERIC DV-30
企業名：ティアック(株)
- 12. 商品名：フルーエンシ DAC 搭載 DVD プレーヤ DU-7
企業名：ラックスマン(株)
- 13. 商品名：D 級アンプ FNP1501
企業名：新潟精密(株)，新電元工業(株)

14. 商品名：フルーエンシ ヘッドホンアンプ内蔵 DAC FN1243
企業名：新潟精密(株)
15. 商品名：フルーエンシ デジタルコントローラ/DAC FN1245
企業名：新潟精密(株)
16. 商品名：フルーエンシ DAC 搭載ヘッドホンアンプ AT-DHA3000
企業名：(株)オーディオテクニカ
17. 商品名：フルーエンシ DAC 搭載 CD プレーヤ VRDS-15
企業名：ティアック(株)
18. 商品名：フルーエンシ DAC 搭載 DVD プレーヤ DU-80
企業名：ラックスマン(株)
19. 商品名：フルーエンシ DAC 搭載 DVD プレーヤ DU-7i
企業名：ラックスマン(株)
20. 商品名：フルーエンシ DAC 搭載 DVD プレーヤ DU-50w/g
企業名：ラックスマン(株)
21. 商品名：フルーエンシ 画像高精細 LSI FNV4311
企業名：新潟精密(株)
22. 商品名：EVD-08(フルーエンシ TV 高精細化装置)
企業名：新潟精密(株)
23. 商品名：TSD06(液晶型フルーエンシ TV 高精細化装置)
企業名：新潟精密(株)
24. 商品名：フルーエンシ画像高精細化 LSI 搭載 DVD プレーヤ DVD-3910
企業名：(株)デノンコンシューマーマーケティング
25. 商品名：フルーエンシ画像高精細化 LSI 搭載 DVD プレーヤ DVD-2910
企業名：(株)デノンコンシューマーマーケティング
26. 商品名：フルーエンシ画像高精細化 LSI 搭載 DVD プレーヤ DVD-1910
企業名：(株)デノンコンシューマーマーケティング
27. 商品名：テレビ用画像高解像度化半導体(PXG-2/4)
企業名：(株)ルネサステクノロジ
28. 商品名：自動車用品パワーアンプ CMX-400/CMX-200
企業名：ラックスマン(株)

7 研究期間中の主な活動
ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2002.4 ～ 2006.9	産総研－寅市 PJ 産学 連携月例ゼミ	産総研	平均 15 名 ／回	フルーエンシ技術と認識技 術の連携
2002.10.17	キューバ基礎産業大臣 顧問視察団	筑波大学 TARA	4 名	IT技術の調査
2002.12.24	警視庁捜査一課打合せ	筑波大学 TARA	5 名	画像解析技術について
2003.1.7	韓 国 Winter Institute 2003	筑波大学 TARA	47 名	ICT 技術の視察
2003.3.6	環境及びハイテク分野 の欧州若手専門家視察	筑波大学 TARA	8 名	情報工学分野の意見交換
2003.3.17	文部科学省学術機関課 視察団	筑波大学 TARA	2 名	情報処理技術の視察
2003.4.14	つくば MOT プログラム	筑波大学 TARA	13 名	フルーエンシ技術について ヒアリング
2003.4.22	平成 15 年度文部科学 省新規採用職員研修	筑波大学 TARA	60 名	大学における研究プロジェ クトの状況について
2003.4.22	文部科学省科学技術審 議官	筑波大学 TARA	10 名	プロジェクト研究についての 視察
2003.5.29	文部科学省高等教育大 学課国立大学第一係長	筑波大学 TARA	8 名	プロジェクト研究の紹介
2003.8.12	文部科学省科学技術・ 学術政策局基盤政策課	筑波大学 TARA	8 名	プロジェクト研究の紹介と意 見交換
2004.2.5	館林高校	筑波大学 TARA	45 名	大学における研究紹介
2004.2.6	ブルガリア駐日大使一 行	筑波大学 TARA	2 名	フルーエンシ技術の紹介
2004.2.12	伊奈高校	筑波大学 TARA	40 名	大学における研究紹介
2004.2.3	ビクトリア大学 Dr. Kin F. Li	筑波大学 寅市 PJ	1 名	フルーエンシ理論の研究に ついての討論
2004.4.15	中国・西南科学技術大 学党書記長一行	筑波大学 TARA	11 名	フルーエンシ技術の紹介
2004.4.19	平成 16 年度文部科学 省新規採用職員研修	筑波大学 TARA	67 名	大学における研究プロジェ クトの状況について
2004.5.17	韓国科学高校	筑波大学 TARA	130 名	大学における研究紹介
2004.5.31	スタンフォード大 Satish 教授	筑波大学 TARA	1 名	フルーエンシ技術について の意見交換

2004.6.8	北京市企画委員会と北京大学科技園一行	筑波大学 TARA	7 名	情報処理技術の研究開発についての視察
2004.6.15	フォーリン・プレスセンター理事長一行	筑波大学 寅市 PJ	3 名	フルーエンシ技術の紹介
2004.7.23	中国厦門大学	筑波大学 TARA	10 名	大学の情報研究調査
2005.3.16	ブラジル・リオデジャネイロ州立大学長	筑波大学 TARA	3 名	プロジェクト研究紹介
2005.4.18	平成 17 年度文部科学省新規採用職員研修	筑波大学 TARA	80 名	大学における研究プロジェクトの状況について
2005.5.18	茨城産業人クラブ	筑波大学 TARA	22 名	フルーエンシ技術紹介
2005.6.3	産学連携推進委員会	筑波大学 TARA	30 名	産学連携研究について紹介
2005.10.19	文部科学省大型放射光施設利用推進室	筑波大学 TARA	4 名	CREST プロジェクトの研究について
2005.12.1	科学新聞社	筑波大学 寅市 PJ	1 名	寅市 PJ の取材
2006.1.31	シェフィールド大学長一行	筑波大学 TARA	2 名	産学連携研究の状況について
2006.2.28	在京文教担当者連絡協議会	筑波大学 TARA	40 名	フルーエンシ技術の紹介
2006.4.18	平成 18 年度文部科学省新規採用職員等研修	筑波大学 TARA	80 名	大学における研究プロジェクトの状況について
2006.5.29	ハルビン工業大学 Zhang Xiaohua 教授他	筑波大学 寅市 PJ	3 名	フルーエンシ技術について
2006.6.14	シンガポール国立大学 Andrew Nee 教授他	筑波大学 寅市 PJ	3 名	フルーエンシ技術について
2006.8.28	独立行政法人 国立環境研究所 合志理事長	筑波大学 寅市 PJ	1 名	フルーエンシ技術の研究紹介
2007.2.16	文部科学省研究振興局 研究環境・産業連携課	筑波大学 寅市 PJ	1 名	技術移転推進室 井上室長に研究状況について
2007.7.19	文部科学省科学技術・学術政策局政策課	筑波大学 寅市 PJ	1 名	フルーエンシ技術について紹介
2008.1.22	慶熙大学教授および学生	筑波大学 TARA	35 名	ITC 技術及びフルーエンシ理論とマルチメディア応用

8 結び

(1)研究の目標から見た達成度について

当初計画においては、フルーエンシ情報理論の画像処理への適用が目標であったが、2 年度目からは、フルーエンシ情報理論の特質でもある共通記述形式を実証することを含め、マルチメディア全般への適用を念頭に、理論から応用までの一貫した研究開発をテーマとした。具体的には、共通記述形式の確立と音響、印刷・静止画、アニメ・動画での実証システム構築を研究目標とした。

この目標に対して、情報理論においては、マルチメディア信号空間として D^N の定義や確率論的アプローチとの融合によって一般化理論へと進化させることができた。

音響においては、高音質化に関し定評を得、数々の受賞をもたらした **C-type** 標本化函数に比しても遥かに良い特性を持つ **E-type** 標本化函数を作り上げ、音質の向上に更に磨きをかけることに成功した。高圧縮化に関しては、**MP3** に比べ同一容量で、より高品位のシステムを実験段階として完成させることができた。

印刷・静止画においては、画像編集システムとして現在の業界標準である **Photoshop** よりも優れた画質を実現させ、この技術の中核とする次世代印刷・静止画編集システムを構築するべく、大手印刷会社の協力を得て実用試験を行った。また、その一端としてモバイル端末向け画像サイジング処理技術を **KDDI(株)**に納入、実用化した。

映像・動画においては、映像・動画のフレーム内画像補間処理技術が **IC** チップ化され、アナログ信号での高精細テレビに採用されている。さらにデジタル信号でのテレビ用高解像度信号処理 **LSI** が製品化され、世界市場へと展開している。より進んだ高精細化研究においては、フレーム間情報を用いた高解像度化技術に必要とされる、不均等標本化函数などによる動き推定、時空間補間処理拡大技術などを実用化。圧縮技術については、静止画像処理で開発した領域分割、輪郭函数化、濃淡函数化処理技術を援用し、函数化の困難な映像・動画に対しては周波数函数としての **LOT** 技術の適用を試み一定の成果を得ている。

これら音、印刷・静止画、映像・動画で開発したすべてのキラーモジュール技術の集大成として、アニメーション制作システムを開発した。実証研究段階にある現状においても、従来の **MPEG2** よりも高品質に拡大でき、データ容量も $1/7$ に圧縮可能な技術を実現している。

処理技術が一応の完成をみた今、残る課題は、種々のモジュール処理を高速化し実装可能な製品としていくことであるが、これには **IC** 化などハードウェアとの連携を探る必要がある。とくに映像・動画への当システムの適応にはこの観点が不可欠の要素となる。

以上、理論の深化を始め、共通記述形式による音響、印刷・静止画、映像・動画への応用技術が、全て当初計画を上回る成果を得られたと考えている。

(2)得られた成果の意義について

得られた研究成果のうちでも今後の技術発展との関係から最大の成果と考えられるのは、個々の要素技術の有意性により検証されたフルーエンシ情報理論の確立とその有効性の実証にある。

既に述べたようにフルーエンシ情報理論に基づく音から印刷・静止画、映像・動画までのマルチメディア技術は、そのそれぞれが従来技法を上回る結果を残しているが、当プロジェクトで研究開発した技術成果は、マルチメディア信号記述に要求される技術の一部に過ぎない。

マルチメディア世界の伸展はハードウェア技術の進歩により更に拡大・深化していくことが予想される。ソフトウェアにおいても開発が待たれる多くの諸技術があろうが、その基礎としての函数近似の果たす役割の大きさ、また有効性を示したことが、当プロジェクトの最も大きな意義であったと考えている。

(3)今後の研究展開について

既述のように、当プロジェクトで研究開発した技術成果は、マルチメディア信号記述に要求される数々の技術の一部に過ぎない。フルーエンシ情報理論に基づく本研究の成果の適用先は非常に広く、無限とも言うべき応用展開が可能と考える。

これからの研究テーマとして、構想の段階ではあるものの研究に着手し始めた例を挙げれば、音響では補聴器やカクテルパーティ効果を持ったオーディオシステムやテレビ会議システムなどへの応用があり、印刷・静止画及び映像・動画については、高精細・低容量のオン・オフライン DTP システム、アニメなどを中心とする映像の低容量リサイズ技術などがある。また、今後展開が期待される応用分野としては、通信技術と融合した遠隔医療、福祉、高齢者介護、災害情報システムなど、社会・経済において要求されるシステムへの適用が考えられる。

さらに、情報量の圧縮を飛躍的に高めたことにより、通信の容易さ、また機器内での処理スピードの短縮が実現する。このことは、モバイル機器発展の最大の制約要因である電池問題を解消し、機器の用途・用法の可能性を飛躍的に拡大することにつながる。モバイル機器の自由度の向上は、情報処理世界の態様の一大変革に繋がることが想起される。

(4)プロジェクト運営について(研究代表者として)

研究推進においては、CREST 研究員を中心に 10 人の研究員がプロジェクトリーダーの指示の下、目標達成に一丸となり邁進してきた。研究体制で特に指摘したいことは、各研究員が自らの専門知識・研究成果を当プロジェクトの目標に適合させる事で、研究の幅だしが可能となったことである。多様な専門領域を持つ研究員を一つの目的に集めたプロジェクト方式の良さが、大きな成果を生む要因となった。

当プロジェクトは、研究内容がわかりやすい特質もあり、多くの展示会、発表会から招待を受けた。これらは、研究発表の場であると同時に、参会者や来場者の方々から直接に要望、意見を聞く機会でもあり、研究の方向性の確認、また展開において非常に参考になった。企業との共同研究を始める機会ともなっている。

特許に関しては、出願だけでなく、企業や他の研究機関の技術開発状況の特許情報によって把握することで自己評価を検証できる側面があった。

研究費の執行においては、毎年の会計検査や会計検査院の監査において、全て完璧であるとの評価を頂いた。当然のこととはいえ、誇るべき事実と思っている。

(5)戦略的創造研究推進事業に対する意見・要望・感想など(研究代表者として)

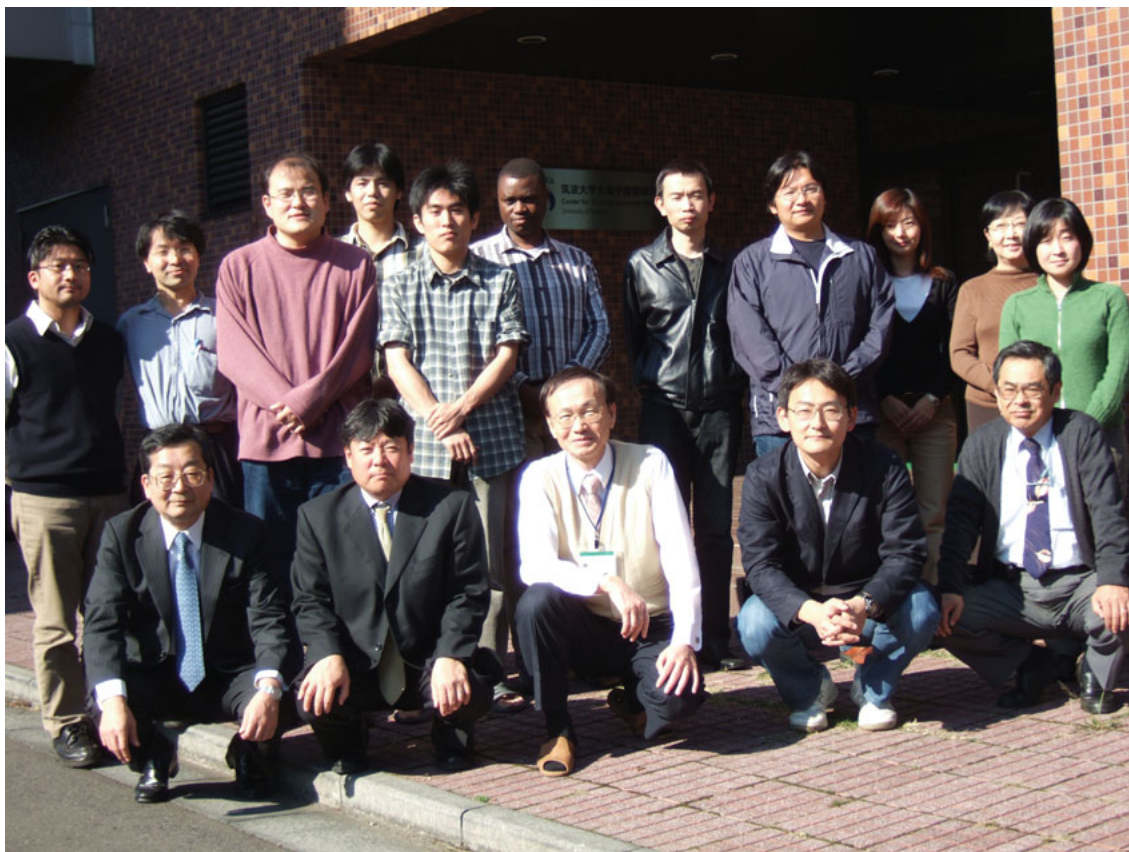
当事業は、かつての一律平等主義から脱して競争原理の考え方を取り入れた研究助成の方式を定着させた点で、今後とも継続が求められる事業と評価する。

研究の世界にも競争原理を取り入れることは、私の年来の主張でもあった。外部審査により研究プロジェクトを選抜し運営される研究センター「筑波大学先端学際領域研究センター(通称:TARA センター)」を、全国の大学に先駆けての創設した者の一人として、当事業は大いに歓迎をする仕組みと思っている。

ただ、若干付言して申し上げれば、研究の成果が直ちに形になりやすい研究もあれば、基礎研究分野のように後に結果に結びつくものもある。他省庁の研究助成は、現業官庁として直接の結果を求めるものが多い。また、競争原理の導入は、拙速な結果優先の弊をも招きやすい。CREST においては、これらの観点にも配慮されることを望みたい。

科学技術の振興は国家百年の計である。わが国の研究レベルを維持・発展させるため、事業の更なる拡充、発展を祈念している。

(6)プロジェクトメンバー



(2006年11月16日、TARA センター玄関前にて)

(7)結びに代えて

プロジェクトを推進させていただいた研究代表者として、お礼を申し上げたい。

近年、国の財政状況の厳しさからか大学などの研究環境は非常に厳しくなっている。このようななか、研究員を抱え、彼らとともに自らの多年の研究テーマに取り組み、かつ一定の成果を上げられたこと。このような研究環境を与えられたことは、生涯一研究者として歩む者として、本当に有り難いことであり心から感謝を申し上げる。

審査にあたられた諸先生を始め、研究環境に配慮下さった事務局の方々等関係各位に多大な感謝と御礼を改めて申し上げさせていただく。ありがとうございました。

【補遺】研究成果ドキュメントリスト

わたくしども研究グループが公募に応じ、採択され参加してきた、戦略的創造研究推進事業は、国の科学技術政策や社会的・経済的ニーズを踏まえ、国が定めた戦略目標の達成に向けた目的志向型の基礎研究を推進するものである。

期間中毎年行われた評価、中間評価においては、審査員各位より高い評価をいただき、当初目標を上回る研究成果を生み出してきたが、この間の研究資金は、国民の税金により賄われて来たことを、われわれ研究員一同は銘記しなければならない。

当推進事業の戦略目標にも書かれるとおり、研究成果は当然、国民に還元されるものである。

わたくしどもは、この最終報告を提出するにあたり、研究成果のドキュメントを添付することで、上記要請に応える一つの形を提案、実行することとした。

研究成果ドキュメントには、個々研究成果ごとに、その概要、開発技術の処理方法、プログラムソースコード、出力結果の例を記した。

ドキュメント本体は大部となるため、別途提出することとし、以下、その要約を提示する。

プロジェクトリーダー 寅市和男

I. 理論

1. パラメータ付き補間関数（E-type 関数）および不均等補間関数（F-type 関数）
2. 超関数に基づく AD/DA 変換理論
3. フルーエンシ FIR フィルタ

II. 音響

1. FPGA 音響シミュレータ
2. フルーエンシ音響信号圧縮符号

III. 静止画

1. オンライン DTP システム
2. Adobe Plug-in インタフェース
3. Adobe Photoshop プラグイン
4. リサイズ

IV. 映像

1. 圧縮シミュレータ
2. 高精細シミュレータ
3. 映像高精細化
4. アニメーション圧縮システム

I 理論

1. パラメータ付き補間函数 (E-type 函数) および不均等補間函数 (F-type 函数)

フルーエンシ理論 Ver.1 では、B-スプライン函数の 1/2 間隔シフトの線形結合による局所台補間函数を確立し、音響装置やテレビ高解像度変換 LSI で実用化した。これに対し、Ver.2 では、B-スプラインに基づかない形で、函数波形調整パラメータ付きの可変型補間函数 (E-type 函数)、不均等間隔補間函数 (F-type 函数) を実用化した。それぞれ区分的 2 次、3 次の場合を具体的に求め、音響信号の圧縮再生に適用している。また、(2,3) 次混合型その他のバリエーションも考察した。

2. 超函数に基づく AD/DA 変換理論

Schwartz 流の緩増加超函数論に基づく AD/DA 変換の理論と、そこから脱却してより現実的な AD/DA 変換の理論 (制約の強すぎない、丁度良い函数クラス) を構築するための定式化を行った。関連する様々な理論計算の過程も記載した。

3. フルーエンシ FIR フィルタ

フルーエンシ C-type 函数の節点での値を係数とするローパスおよびハイパスのデジタルフィルタをスケーリングしたものを縦続接続するという方法で狭帯域フィルタを実現し、従来法である Remez 法の 1/10 程度の少ない乗算器数で所望フィルタが構成できることを示した。また、縦続接続の各要素フィルタとして上記のスケーリングされたフィルタの積和からなるモジュールへ拡張することにより、特に急峻な遮断特性を実現できることを示した。

II 音響

1. FPGA 音響シミュレータ

プログラマブルなハードウェアデバイスである FPGA を、デジタル音響信号の高音質なアナログ変換に必要とされる補間アルゴリズムの処理に用いた、音響シミュレータを開発した。このシミュレータは、高度に配慮された設計によって、-100dB 以上の SN 比と 100kHz 近くまでフラットな周波数特性を実現した。

このシミュレータは、FPGA の採用によって、補間アルゴリズムの容易な書き換えと、それらアルゴリズムを複数切り替えながらのハードウェアレベルにおける高精度検証を両立できる。また、検証された補間アルゴリズムの IC 化コストが大幅に削減可能である。

このシミュレータ上で、特性可変なフルーエンシ標準化函数である E-type が実装され、高周波数領域の再生特性が試聴可能な形で検証された。

2. フルーエンシ音響信号圧縮符号

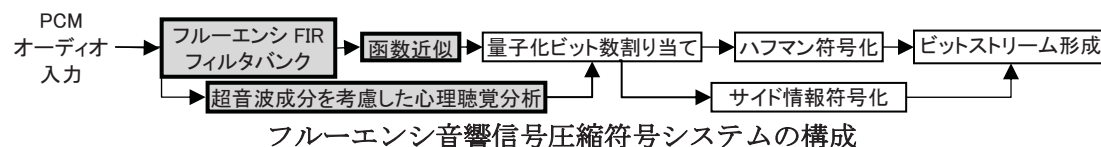
従来、音響信号の圧縮符号方式として普及してきた MP3 形式がベースとしている Shannon の標本化定理に代わって、フルーエンシ理論に基づいて設計されたモジュールによって可能な限り構成された音響信号の圧縮符号化方式である。この圧縮符号化方式は、MP3 形式と同等の圧縮率(主には、320kbps(CD の約 1/4)のビットレート)でより優れる音質、あるいは同等の音質でより高い圧縮率を実現する。

この圧縮符号化方式は、従来理論に基づくモジュールを可能な限り使用しないことによって、知的所有権問題を回避しやすい。

2.1 フルーエンシ FIR フィルタバンク：フルーエンシ標本化函数に基づいて定義された基本フィルタをベースとして、それを組み合わせて所望特性のフィルタを設計することで、従来手法に比べてはるかに少ないタップ数で同等以上の性能のフィルタを実現できる。フルーエンシ音響信号圧縮符号化方式では、このフルーエンシ FIR フィルタを組み合わせてフィルタバンクとしたものを、帯域分離の手段として利用している。

2.2 非線形圧縮：従来手法で用いられている非線形圧縮手法に加え、複数の非線形圧縮手法を適用することで、ビットレートが許す範囲での音質維持を実現する。

2.3 Huffman 符号化：可逆圧縮によって音質に影響を与えずに圧縮率を向上させる。



2.4 圧縮データの復号：上記モジュールによって圧縮されたビットストリームから Linear PCM 信号を復元する。

III 静止画

1. オンライン DTP システム

高精細・スケーラブルな印刷精度とコンパクトなデータサイズが実現できるオフライン型 DTP システムに通信機能を取り入れ、ネットワークを介した印刷画像の双方向配信や対話的なリアルタイム編集が可能なシステムとして実現した。

2. Adobe Plug-in インタフェース

これまで、画像記述に対する要素技術を纏め上げたシステムとして、当プロジェクトではスタンドアロン型／オンライン型 DTP システムを開発した。しかしながら、ユーザの中

には従来から使い慣れた機能や操作はそのまま、核となるエンジンにはフルーエンシを取り入れたいという要求があった。そこで、世界標準化戦略のひとつとして、画像記述に対するフルーエンシ技術を現在の世界標準といえる Adobe 社のソフトウェア（Photoshop, Illustrator）へプラグインする為のインタフェースを整備した。

3. Adobe Photoshop プラグイン

3.1 自動分類: 画像のコンテンツ分類は、文字や線画とフルカラー画像領域それぞれの領域に最適なフルーエンシ関数化を施し高精細な解像度変換や高圧縮な記述を実現するための前処理である。

3.2 非分離型補間拡大: 従来の解像度変換手法には、画素の格子に起因するノイズが生じたり、エッジ付近がぼやけて鮮鋭性が失われたりしてしまう問題がある。本プラグインでは、自然画像のような濃淡画像は、エッジを考慮したフルーエンシ二変数 DA 関数を用いて高精細に拡大する手法を実現している。

3.3 縮小: 自然画像のような濃淡画像の縮小においてもフルーエンシ二変数 DA 関数を用いて高精細に縮小する高速アルゴリズムを開発した。この手法は、従来の単純間引き法と同程度の処理時間で、従来の高品質法である平均画素法と同程度以上の品質を得ることを可能である。

3.4 修正: 非分離補間手法を用いても拡大された自然写真の中に残っているジャギーなどを指定して、自動的に取り除くツールを開発した。

4. リサイズ

フルーエンシ二変数 DA 関数を用いた高精細に縮小する高速アルゴリズムで、モバイル用コンテンツ制作システムに取り入れられている。

IV 映像

1. 圧縮シミュレータ

Post-MPEG 圧縮システムの開発においては、アルゴリズムの検証および MPEG との比較を容易にするシステムが要求された。そのため、当プロジェクトは KDDI(株)と共同で、MPEG 符号化・復号をベースとする圧縮シミュレータを構築した。この圧縮シミュレータによって、前述した対応点推定、LOT、領域分割、輪郭関数化など要素技術モジュールの開発が容易となった。

2. 高精細シミュレータ

フルーエンシ函数を用いた補間による動画フレームの高画質化実証試験や、IC チップ化のためには、プログラマブルなプロセッサやメモリを含んだハード化シミュレータで実証することが必要である。当プロジェクトは（株）新潟精密・（株）日立製作所と共同で、リアルタイム映像シミュレータシステムの開発を行い、必要な環境整備を行った。現在までに、複数種類の映像処理方式の実時間比較、および映像の複数フレームを利用した画質改善処理の実装が可能である。

3. 映像高精細化

3.1 不均等補間: 時間的に連続する複数のフレーム上の同一被写体からの標本(ピクセル)情報を利用することで、超解像画質改善を行う方式を提案した。フルーエンシ対応点推定方法で被写体の動き検出と位置合わせを行い、得られた空間的に不均等な標本列を2次のフルーエンシ不均等標本化函数を用いて補間することで高画質化を実現した。提案法では従来の超解像方式で必要とされた逆行列計算や繰り返し計算を省くことができ高速な高画質化が可能となった。

3.2 対応点推定: 対応点推定に関しては、フルーエンシ理論に基づいて、フレーム間の相関函数が属する函数空間を正確に決定することにより、相関函数の最大値が厳密に求められ、任意精度での動きベクトル検出が実現した。提案手法と従来手法(2次多項式補間)の比較によって、提案手法の有効性が確認された。

3.3 ノイズ除去: ノイズ除去に関しては、テンソル積オペレータに基づき逆推定を行うフィルタが考案された。提案方式に基づくフィルタは主観的評価においては、従来のウィナーフィルタよりも鮮明な画像が得られることを確認した。客観的な性能指標の一つである PSNR による評価では、提案手法は従来手法より画質が良いことを確認している。この手法の有効性は医療用超音波画像のノイズ除去においても実証された。

4. アニメーション圧縮システム

フルーエンシ理論に基づくマルチメディア情報システムの最大の特徴である共通記述形式という利点を生かして、音響、静止画、動画の各技術を融合させる一つの実証例として、アニメーション制作システムが挙げられる。当システムは、これまでに開発されたフルーエンシ函数近似モジュールを結集することで、映像・動画処理において MPEG2 と比較して同等以上の画質を保ちながらはるかに少ないデータ量でのアニメーションコンテンツ記述を実現した。フルーエンシ記述方式を用いることでジャギーの発生が抑えられており、MPEG2 と比較して画質が大きく改善されているのは明らかである。また、コンテンツの内容によって圧縮率は変動するが、一般的な場合において、記述データ量が MPEG2 の 1/6 と圧倒的に小さい。このように、当アニメーション圧縮システムは画質・容量の両面において MPEG2 より優れており、実用レベルに適うことが立証された。