

「情報社会を支える新しい高性能情報処理技術」
平成14年度採択研究代表者

寅市 和男

(筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授
(先端学際領域研究センターアスペクト))

「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」

1. 研究実施の概要

(1) 研究のねらい：

現実のマルチメディア信号はアナログ信号である。このアナログ信号をCPUでデジタルに変換して得たい信号に加工し、再びアナログ信号に戻してマルチメディアシステムは構成されている。従来、この信号変換処理には、フーリエの周波数の意味で帯域制限された二乗可積分信号空間とその標本値列ベクトル空間との同型性を保証するシャノンの標本化定理が適用されてきた。ここで使われているADならびにDAの基本信号は、正弦波を基本とした正則函数である。これを非正則函数まで一般化した信号空間がフルーエンシ解析により与えられている。

当研究プロジェクトの最終目標はこの独自のフルーエンシ情報理論とその理論を基にした音声、静止画像、動画像を高精度・高圧縮（符号化）且つ高精細・スケーラブルな再生（復号化）を行うマルチメディアシステムを世界標準へと位置づけていくことにある。マルチメディア信号の符号化技術については、「情報の精度を保ち、情報量を低減する」ことを目標に、フルーエンシ周波数の概念を取り入れた情報圧縮技術を確立し、Post-MP3（音響）、Post-JPEG（静止画）、Post-MPEG（動画）となるフルーエンシ符号化方式を実用化する。一方、マルチメディア信号の復号化技術については、「情報量を保ち、精度を向上する」ことを目標に、フルーエンシ標本化函数による情報の高精細な再生・拡大技術を開発し、音声から映像までのマルチメディア信号を個人の時々刻々変化する状態に合わせて変換するフルーエンシ復号化方式を実用化する。これらの符号化・復号化技術によりフルーエンシマルチメディアシステムを世界標準に位置付ける。

(2) これまでの研究概要と成果

理論においては、AD/DA函数系を核とした高精細・スケーラブルな信号符号化・復号化理論を確立し、実用化を目指している。これまで、フルーエンシ標本化函数をベースとして、情報再生の高精度化を基本に研究開発を進め、音響、静止画、動画への応用展開を図ってきた。この理論の実用展開の功績が認められ、H16年度船井情報

科学振興賞（エレクトロニクス部門）を受賞した。

H16年度から情報圧縮についての検討にも着手し、1960年代後半に見出した周波数軸での論理直交函数系がベースとなる信号圧縮技術を確立する。

音声への応用においては、音質向上を目指した音響システムの開発を進め、1988年 Golden Sound賞の受賞をはじめ、国内外オーディオ専門業界を対象とした35の賞を受賞しており、フルエンシオーディオ再生方式が世界標準の一つとして認知されるに至っている。この技術を更に発展させ、H16年度ではMP3信号をCD並みの音質に再生する技術を開発する。さらに、音質評価についても研究を進め、H16年度には生演奏との比較による心理評価実験で超音波信号を再生するフルエンシDACの有用性を評価する。また、生理学的見地からの超音波差音の知覚実験に着手し、人間の聴覚特性の研究を推進する。

静止画像については、線画、多色図形、フルカラー画像の輪郭線、濃淡を高精細、スケーラブルに縮小・拡大するフルエンシ函数近似手法を確立し、看板作成、ポスター製作、マンガ配信など多くのシステムへの展開を図ってきた。印刷分野においては、DTPの処理にフルエンシ函数近似手法を取り入れ、図形の高精細・スケーラブルな処理により、従来に無いDTP処理の高性能化が実現した。この技術は印刷革命をもたらす技術であると日本印刷学会から認定され、平成15年にフルエンシ函数近似手法に対して論文賞を受賞し、さらにその手法を搭載したDTPシステムの実用性が評価され印刷朝陽会から印刷朝陽会賞を受賞している。写真においては、QVGAサイズ（320*240画素）を画素数で百倍以上に拡大してもジャギーの無い高精細・スケーラブルに表示、印刷を可能とした技術を開発した。

動画像については、映像の高品質化を目標に、水平方向、垂直方向の補間処理アルゴリズムの開発、実用化を進め、通常のNTSC TVあるいはDVDなどの映像を高品質に画質改善するフルエンシTV-ICチップを開発し、DENON社でのDVDプレーヤ製品化、ルネサステクノロジ社でのLSI製品化に結びつけた。

さらに、国内外での学会や技術展などで厳しい技術評価を積極的に受け、研究開発に反映させている。2004年8月に米国で開催された国際会議 International Conference on Computing, Communications and Control Technologies 2004 (C C C T 2004) では“Fluency Information Theory and Its Applications to Multimedia”なる招待セッションを単独に3時間に亘って行った。フルエンシ情報理論とそのシステムで2件のチュートリアル講演と、7件の研究発表、および2件のデモによる実演を行った。これは、2003年度に行ったAUTMでの技術展示に引き続きいただいた、専門家の評価である。このようにフルエンシ文化が国内外に徐々に広まりつつある状況である。

(3) 今後の見通し

理論においては、信号解析の分野にシュワルツ流の超函数論を本格的に導入したことをきっかけとし、フルエンシ情報理論で扱う現実のマルチメディア信号にあった

(m=2)回のみ微分可能な信号空間 \mathcal{S} に適用可能な新たな超函数論を開拓する。この理論の開拓と並行して、DA/AD函数系を核とした高精細・スケーラブルな信号符号化復号化理論をベースとし、そこへ $m=1$ クラスのフルーエンシ周波数概念の導入による圧縮符号化理論を確立し、実用化を目指す。この理論により高品質化、高圧縮化を図るマルチメディアシステムの世界標準技術として展開 (Post-MP3, Post-JPEG, Post-MPEG) を図る。

また、各マルチメディアシステムの心理学的、生理学的評価を行い、人間にマッチした信号処理技術を確立する。さらにモバイル通信システムと融合した実システムへの展開を図り、社会、経済に貢献する研究開発を推進する。

さらに、フルーエンシ符号化・復号化技術のハードウェア化を目指し、FPGAによるリアルタイムシミュレータで、処理アルゴリズムの評価を行うと共に、IC化の検討も進めている。

2. 研究実施内容

・ 理論

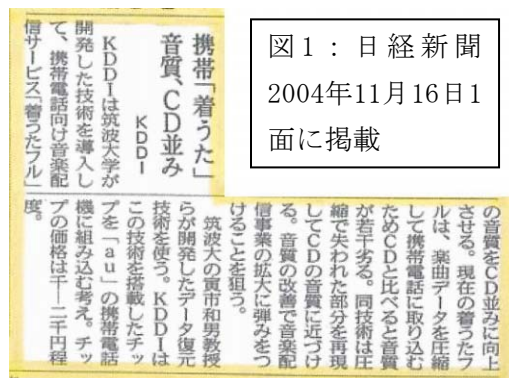
電子情報通信学会出版会より、出版を認定頂けている「現代波形解析—フルーエンシ解析」の執筆を精力的に進めた。また、3つのフルーエンシ信号空間($m=2, 3, \infty$)を適応的に選択し、かつ各信号空間の座標軸として標本化基底と周波数基底を使い分けることにより、現実のマルチメディア信号に対して高精細・スケーラブルな復号化あるいは高精度・高圧縮な符号化の理論が確立された。情報量を保ったまま高精度化を図ることは、信号空間の座標軸として標本化基底を適応的に使用した場合に相当し、また、情報の精度を保ったまま情報量を低減することは、信号空間の座標軸として $m=1$ クラスのフルーエンシ周波数基底を使った場合に相当する。特に、後者の場合のことを論理直交変換 (LOT) と呼ぶこととする。このLOTの導入により、DCTをベースとした従来のJPEG、MPEGの精度を保ちつつさらなる圧縮率の向上が期待できる。

加えて、フルーエンシAD作用素、フルーエンシFIRフィルタ、フルーエンシ状態函数空間および不均等フルーエンシ標本化函数に関する理論的成果をそれぞれ学会論文誌や国際学会で発表した。

・ 音響

音響システムに関しては、CDを高品質に再生するフルーエンシDACのハイエンド、ミドルエンドのシステムを開発してきたが、H16年度はローエンドのシステムの開発を目指した。

「着うた」などで採用されているMP3の信号をCD並に再生させることが可能となり、この成果が新聞発表された (図1)。更なる音質向上を図ると共に、MP3を凌駕する圧縮技術を



評価するため、リアルタイム音響シミュレータの製作を依頼した。また、超音波が人間の感覚に与える特性を心理的に評価するため、生演奏とフルーエンシDACによるブラインド試聴比較評価実験を、NHKの協力を得て2005年3月20日、NHK渋谷509スタジオにて行った。音響工学者、録音技術者、器楽奏者など30名あまりの被験者の評価結果は現在集計／分析中であるが、超音波再生成分の有無が音声知覚に与える影響に関して知見が得られるものと考えている。この集計／分析が終了次第、その結果を学会論文誌に発表していく予定である。さらに、超音波成分、特に超音波差音で生成される可聴域周波数のうなり音が知覚されるメカニズムを解明すべく、EEG(脳波計)、MEG(脳磁図計)を用いての知覚実験を東京電機大学との共同で行った。現段階では、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は解明できていないが、その第一報として、実験の成果を国際学会で報告した。

- ・ 静止画

細線画像を対象とした符号化・復号化の研究においては、地図などの細線処理における符号化品質の向上や、線画図形データベースにおける画像の類似度による検索技術の開発を目的とし、細線を正確にフルーエンシ関数近似するアルゴリズムの研究を進めた。そしてノイズ等で途切れた線分も周辺の情報との整合を取って接続する手法を開発・実装し、地図の細線を高精細に符号化する手法やフルーエンシ関数近似された家紋画像の内容検索手法を実現した。カラーイラスト画像を対象とした符号化・復号化の研究においては、オンデマンドな図形処理技術の応用に関する研究を推進した。具体的には、オンデマンドのマンガ配信システムや大看板・ポスターなどの印刷物を安価な計算機環境で簡便に作成するD.T.Pシステムの開発を行い、セキュリティの高い画像配信システムを実現した。

フルカラー画像については、濃淡値の変化をフルーエンシ関数化することでスケラビリティを実現している。昨今のカメラ付き携帯電話の普及は目覚ましいが、撮影された写真はカメラ性能、伝送路容量、そしてコストの問題から低解像度の画像として通信路を送られる。したがって、低解像度の画像から、いかに高精細な画像を再生するかということが重要になる。本年は、フルーエンシ標本化関数を用いた携帯電話カメラ画像の拡大(高解像度化補間)手法を実装した画像拡大ソフト“Zoomer”を開発し、画像解像度変換の従来法である最近傍法、双線形補間法、3次畳み込み内挿法などに比べて高精細な補間画像を得ることができることを確認した。QVGAサイズ(320*240画素)を画素数で百倍以上に拡大してもジャギーの無い高精細・スケラブルに表示、印刷が可能である。この成果は国際学会(CCC T2004)でそのデモンストレーションと発表を行った。



オリジナル画像



最近傍法により拡大
(10*10倍)



フルエンシ方式により拡大
(10*10倍)

・ 動画

動画像処理に関する研究成果については、NTSCインターレース方式の動画像をフルエンシ情報理論に基づき水平方向の解像度を2倍に画質改善するTV画像用のICチップを搭載したDVDプレーヤがDENON社から発売された。さらに、フルエンシ情報理論に基づき水平・垂直方向に対する補間処理により解像度を4倍に向上させるテレビ画像用ICがルネサステクノロジ社により開発されることとなり、平成16年11月5日付けの日経産業新聞の1面において発表された。これは、当該研究プログラムの目標としているフルエンシマルチメディアシステムのデファクトスタンダードとして位置づけることに繋がっていく。

フルエンシ情報理論による当該プログラムの最終目標である、ある一定のS/Nを保持した上で、従来のJPEG、MPEGでの情報圧縮率に勝るm=1クラスのフルエンシ周波数軸による符号化方式を、今までに開発済のフルエンシ標本化函数系をベースとした符号化方式と併せて研究開発し、それらの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シミュレータで実証するこ



とが必要である。本年度は、そのためのリアルタイム映像シミュレータシステムの開発を完了した。本システムはFPGAボードに入出力ボードを接続する構成となっており、画質改善アルゴリズムの実時間実行による検証が可能である。今後、このシステムを用いて二変数処理技術やリアルタイム輪郭処理技術、フレーム間補間処理技術等の開発を行う予定である。

画像の解析技術として、輪郭抽出、濃淡処理技術などを組み合わせたシステムを確立し、警察の依頼解析などに対応している。

・評価技術

音響や画像の符号化形式について、品質やデータ量などの側面から既存の符号化形式との客観的比較を推進中で、フルエンシ符号化形式の長短、及び改善点を明らかにする。同時に人間の主観的品質評価に適合した評価基準を提案し、マニュアル化を行う。

3. 研究実施体制

フルエンシマルチメディア情報通信システム研究開発グループ

① 研究分担グループ長：寅市 和男（筑波大学 システム情報工学研究科教授）

② 研究項目

- フルーエンシ情報理論の検討
- 音響システムの高品質化、音質評価、聴覚モデル
- 高精細・スケーラブルな静止画像記述方式と実用システムの試作
- 静止画像符号化/復号化ソフトウェアエンジンの開発
- 動画の画質改善とI C化

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文発表

- 中村浩二、河辺徹、片岸一起、寅市和男、夏広詣、“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、Vol.124-C、No.10、pp.2101-2107 (October 2004).
- Tetsuo SUGIYAMA, KWAN Paul Wing Hing, Kazuo TORAICHI and Kazuki 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).

(2) 特許出願

H16年度特許出願件数：14件（CREST研究期間累積件数：23件）