

「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

(筑波大学先端学際領域研究センター マルチメディア情報研究アスペクト 教授)

「フルーエンシー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

当研究プロジェクトの目標は、第 1 に理論として Post-Shannon の位置付けになるように「フルーエンシー情報理論」を完成させることであり、第 2 にその応用として音声、静止画像、動画像を高精細・スケーラブルに取り扱える統一的符号化・復号記述形式を国際標準にまで仕上げることである。

フルーエンシー情報理論の特徴は信号空間を正則函数空間から非正則函数空間へ拡張し、原信号の特徴に応じた信号変換を可能とする点にある。マルチメディア信号の符号化については、AD/DA 変換理論に基づく情報の高精細な再生・拡大技術により、音声から映像までを人間の知覚特性により適合する符号化形式を確立する。さらに、フルーエンシー信号部分空間の適応的選択による情報圧縮技術とあわせることにより、Post-MP3 (音響)、Post-JPEG (静止画)、Post-MPEG (動画) となるフルーエンシー符号化方式を確立する。これらの符号化技術によりフルーエンシーマルチメディアシステムが世界標準に位置付けられることを目標とする。

(2) 昨年度までの進捗

昨年度までに、理論においてはフルーエンシー情報理論に超関数論的解釈を導入し、従来の枠組みに加えて、不均等標本を扱う方法についての提案を行った。音響においては、MP3 などの圧縮音源再生へのフルーエンシー補間方式の有効性を示し、実証と IC 開発のための FPGA を搭載したハードウェア化(音響)シミュレータを開発した。平行して比較聴覚実験や EEG を用いた心理的、生理的な聴覚知覚特性の検証を進めてきた。静止画研究においては特に地図の記述やマンガ配信を意識した高精細・スケーラブルな記述方式や携帯電話カメラ画像などに有効なフルカラー画像拡大方式を提案し、動画像においても、実時間補間による高画質化方式が製品に採用され、さらなる映像信号の補間方式ハード化実証のための映像シミュレータを導入した。

(3) 本年度の進捗

理論研究は従来の枠組み(フルーエンシー情報理論 Ver. 1)における信号空間の定式化、論理直交変換(LOT)と信号部分空間の選択による圧縮方式の開発に加え、不均等標本、特性可変な

E-type 型標本化関数による信号空間の調整を含む新たな枠組み(フルーエンシ情報理論 Ver. 2)の確立に向け研究を進めた。本年度特筆すべきはこれらの理論研究の成果が即座にマルチメディアに応用されていく研究体制が確立されたことである。音響研究では E-type 標本化関数の利用により周波数特性を任意に変更することのできる再生方式を提案し、MP3 をはじめとする圧縮音源の高品質再生が可能であることを示した。また、昨年度 NHK スタジオにて行った比較試聴実験のデータ解析を進め、フルーエンシオーディオに含まれる超音波成分が被験者の主観的印象に明確な影響を与えていることが明らかとなった。静止画研究においては、輪郭函数化を特徴とする DTP 画像符号化方式と階調函数化を用いるフルカラー画像符号化方式の融合を目指して研究を進めた。グラデーションなど規則的に階調が変化する領域における2変数函数による階調函数符号化、エッジなどにおける補間方式を適応的に変更するアルゴリズムの最適化などによる高精細化、高符号化効率化を実現した。動画研究においては、昨年度開発の映像シミュレータ上にフレーム内情報を利用した任意の補間方式を実装できる環境を整備し、E-type をはじめとする新しい補間方式を用いた場合の画質検証を進めた。さらに、連続する複数枚の動画フレームを利用し、位置合わせの後にフルーエンシ不均等標本補間法を用いる超解像方式を提案し、監視カメラ画像などの高画質化の可能性を示した。また、これらの要素技術により構成される Post-MPEG 方式の枠組みを提案し、その実証のためのソフトウェアの開発を進めた。

(4) 今後の見通し

今後は、音響、静止画、動画ともに、これまで開発を行い成果の出ている要素技術を集約することで、次世代記述方式となる Post-MP3, Post-JPEG, Post-MPEG 方式の実現へと研究開発を進める。同時に、本プロジェクトを進める過程で生まれてきた不均等な標本列に対する補間や、E-type 補間関数を用いた適応的に信号空間を変化させつつ補間再生を行う枠組みなどを、モータリティを越えた符号化・復号化方式という視点からの成果としてまとめていきたい。

2. 研究実施内容

1) 理論

フルーエンシ理論の基本的な考え方は、B-スプライン函数による固定的パラメータ区分的多項式に基づく AD/DA 変換の枠組みであるといえることができる。しかし実際にこの理論を運用していく中で、様々な実用上の課題が実システムからの要請として浮かび上がってきた。そこで本年度、従来の理論を理論 Ver.1 と位置づけ(図 1(a)参照)、これらの要請への解を与えるものとして、B-スプライン函数を含むより広い区分的多項式に基づく「理論 Ver.2」へと発展させた。ここで扱う基本的なパラメータは

- ・ 多項式次数 ・ 函数の台の長さ ・ 連続微分可能回数 ・ 標本点間隔 ・ 節点間隔
- ・ 変数の数 ・ 空間の次元 ・ 独立な函数系を構成する際の基本函数のシフト幅

であり、理論 Ver.1 にないパラメータとして、標本点間隔、節点間隔、函数波形の調整可能性といったものを持っている(図 1(b)参照)。この理論 Ver.2 を用いる事で、マルチメディア信号処理

での AD/DA 変換において、より柔軟な函数近似の枠組みがもたらされた。

理論 Ver.2 で得た成果は再びマルチメディアシステムにフィードバックされ、理論と応用とが互いにインタラクティブに影響し合う形で研究を進めることができた。

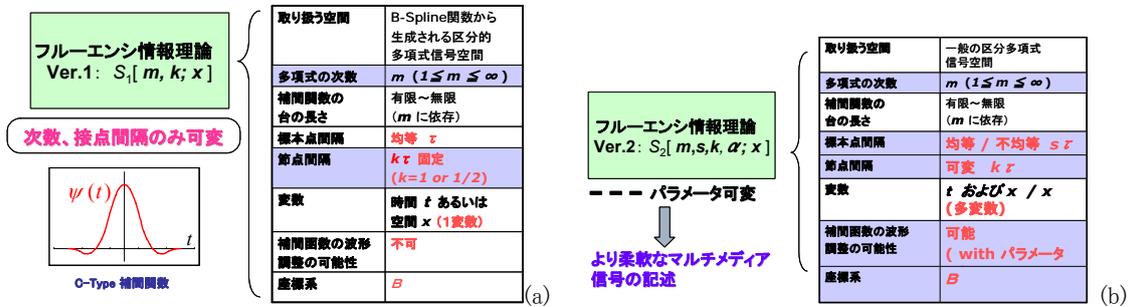


図 1. (a) Ver.1 のフルーエンシ情報理論の特徴, (b) Ver.2 の特徴

Ver.2 に属する内容の中でも、本年度特に可変型の DA 函数(E-type)の研究を重点的に進めた。これまでに有限区間上に台を持つ DA 函数(C-type)を構成し、その2次 DA 函数は音響 DAC・フルーエンシ TV 等として実装されてきた。今年度は 16KHz 以上の可聴領域高域成分の欠落している MP3 音楽信号の高域成分を補償して CD 並みに高音質化することを目的として、新たな DA 函数の枠組み提案した。この E-type 函数は

- (1) 時間軸上局所台を持つ
- (2) 20KHz 以上の高域成分を持つ
- (3) 周波数特性のメインローブの平坦さが $\pm 2\text{dB}$ 以内に抑えられる
- (4) 特性可変パラメータ α を持つ; 特に $\alpha = -1/4$ のとき、C-type 函数と一致する

という有用性がある。この特性可変性から、E-type 函数には DA 函数として他にも様々な応用が期待できる。図 2 には E-type 函数の一般形と各 α での周波数特性の概観図を示す。

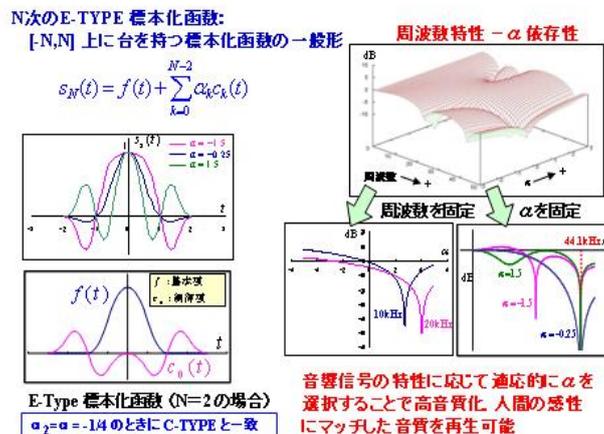


図 2. C-type から E-type 標本化函数への一般化

2) 音響システム

本年度は、人間の感性に適するという意味での高音質化に着目し、MP3 などの圧縮音源をターゲットにして、新たな音響信号再生アルゴリズムの開発を目指した。これを実現するために、特性可変標準化函数(E-type)を用いた高音質化を図った。このパラメトリックに周波数特性を変えることができる性質により、人間の知覚により適合した音響信号再生アルゴリズムが実現できると期待される。

これらの提案技術の評価のため、昨年度導入したリアルタイム音響シミュレータを用いて、再生アルゴリズム比較評価実験および迅速なハード化、IC 化が可能な環境を整備し、検証を進めた。

また、昨年度末に行ったNHK 渋谷 509 スタジオにおけるライブ演奏、それを録音したCDを使ったフルーエンシ DAC による超音波成分を含む再生音、そして従来 (Shannon) 型 DAC による再生音、とのブラインド試聴比較評価実験の解析を進め、ライブ演奏と録音との相違、および超音波再生成分の有無が音響知覚に影響を与えることなどを確認した。

さらに、生理学的観点から、フルーエンシオーディオの特徴である超音波成分の知覚への影響を調査するため、超音波刺激時の脳内活動観測実験を行った。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、脳波計を用いて比較検討する実験を東京電機大学との共同で行った(図 3(a))。この実験結果から、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を確認した(図 3(b))。この結果から、生理学的見地からも超音波の有無が知覚される音質に影響を及ぼしていると推測される。

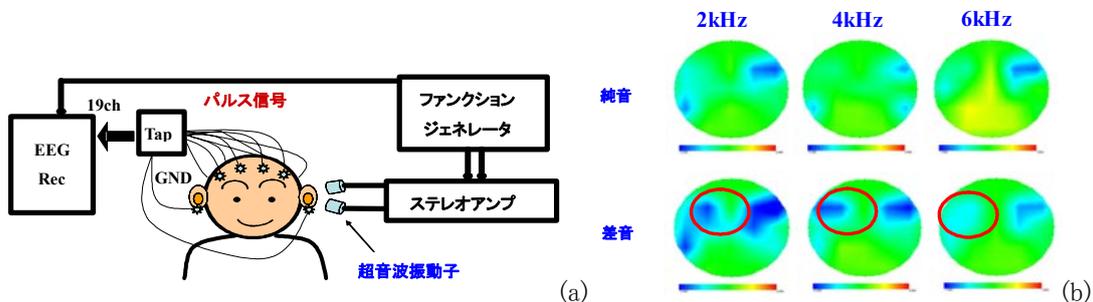


図 3. (a) 超音波差音／純音刺激時の脳波測定実験 (b) 純音と超音波差音による EEG を用いた脳内活動測定結果。超音波差音刺激時には純音刺激時には見られない部位の活性が観測された。

3) 静止画システム

静止画の符号化においては、これまで対象とする静止画を 1 画素 1 ビットの 2 値画像, 1 画素 8 ビット程度のカラーイラスト, 1 画素 24 ビットのフルカラー画像の 3 種に分類し、それぞれの種類に最も適合する符号化・復号化アルゴリズムを、適応的に選択し、フルーエンシ情報理論に基づいた高精細かつスケラブルな符号化・復号化を図ってきた。本年度はそれぞれの技術を融合した統一符号化形式に向けた研究を進めた。

a) オンライン型フルーエンシ DTP システム

上記の 3 種の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、上記のオフライン型フル

一エンシ DTP システムをネットワークへと発展させたオンライン型フルーエンシ DTP システムを開発した。このシステムは、フルーエンシ符号化された高品質な印刷データを、製作者・発注者間などでリアルタイムに通信し、同じ印刷データを共有しながら対話的に印刷物を作ることを実現した(図 4)。

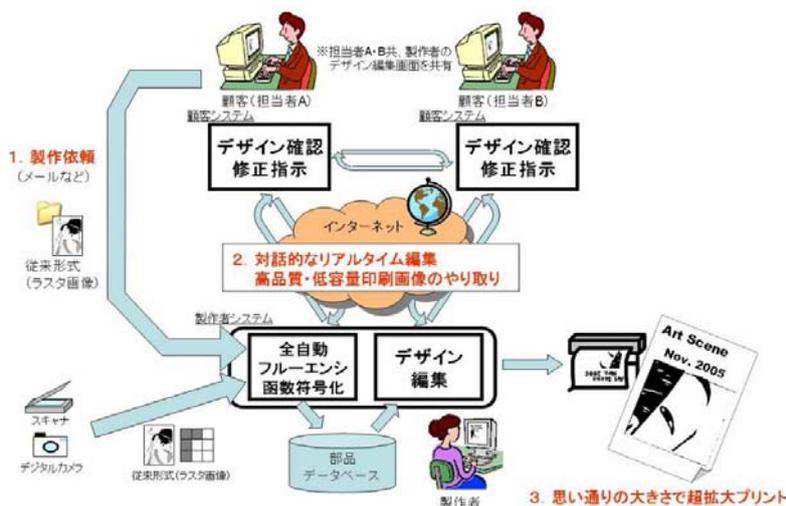


図 4. オンライン型フルーエンシ DTP システム. 各矢印はデータの流れを表す。

b) グラデーション領域の 2 変数関数近似手法

現在 DTP の分野で広く用いられている関数形式の画像には、拡大縮小をはじめとしたアフィン変換に向き、ファイルサイズが小さいという利点があるが、フルカラー画像のように、細かな階調変化を伴う画像の記述には適していない。本研究ではフルカラーからなる画像の中でも規則的に階調が変化するグラデーションに対して、2 変数関数による階調の関数近似の誤差判定を行いながら再帰的に領域を分割する新たな領域分割手法と、それを用いた階調の関数近似手法を提案した。実際にビットマップから関数形式へと変換するソフトウェアを実現し、従来の関数近似手法や階調補間手法と比較して、その有効性を確認した(図 5)。



図 5. グラデーション領域の 2 変数関数化による符号化. (a) 原ラスター画像(b) 従来手法で同色領域ごとに輪郭を関数符号化したもの (c) 提案方式によりグラデーション領域を認識し、2 変数関数近似したもの。画質、データ量ともに顕著な改善が見られる。

c) 2変数補間函数の適応アルゴリズムの最適化

バイキュービック法や、本プロジェクト提案のバイフルーエンシ法などのフルカラー画像の補間においては、拡大後のエッジ部分の画質の劣化が問題となっていた。この問題に対して大平らによって提案された2変数補間函数の形状を適応的に変形する手法を改善し、エッジ部分における補間函数の適応アルゴリズムを最適化し、より高精細なエッジ再生が可能となった(図6)。

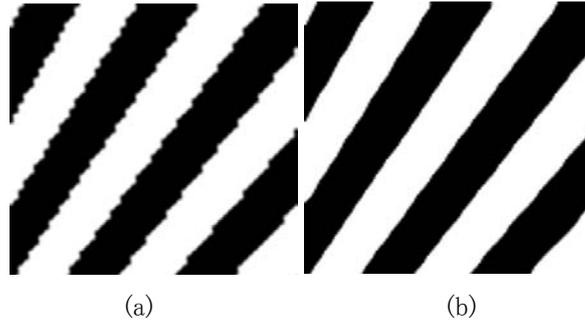


図6. 標準のテスト画像を縦横それぞれ5倍に拡大した画像の比較. (a) 従来法(バイキュービック法), (b) 最適化後のフルーエンシ適応補間方式. 従来法にはのこぎり状のアーチファクトが発生するのに対し, 提案方式では滑らかに補間が行われている.

4) 動画システム

a) 映像シミュレータ環境整備

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。そのため、図7に示す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となっている。



図7. IC構築用映像シミュレータ

b) 複数動画フレームと不均等標本補間を用いた超解像方式による画質改善

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。ここでは、既存の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な点、ハード化を含めた実証実験を現在進めている。

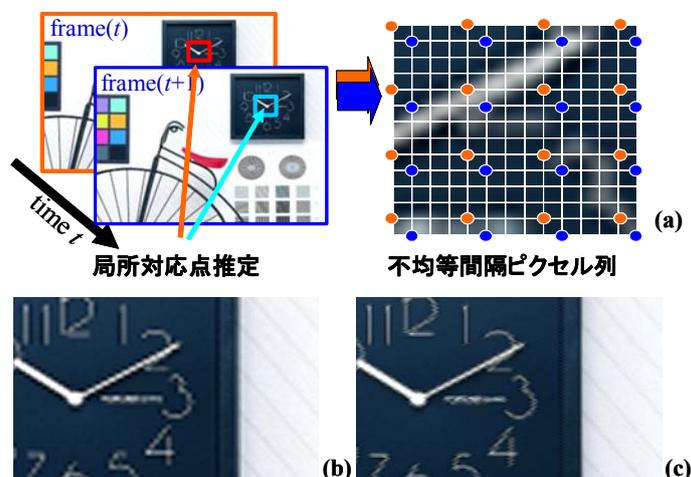


図 8. 複数動画フレームとフルーエンシ不均等標本補間を用いた超解像方式 (a) フレーム中の対応点推定により被写体の不均等間隔ピクセル列を得る. (b) 従来法(単一フレーム)による補間拡大 (c) 提案法(複数フレーム)を用いた補間拡大

3. 研究実施体制

フルーエンシ理論とそのマルチメディア応用研究グループ

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：フルーエンシ理論とそのマルチメディア応用に関する研究

- 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、聴覚のモデル化
- 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
- 動画像の画質改善と 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（原著論文）発表

- 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, Vol.125-C, No.7, pp.1093-1100 (July 2005).
- 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, No.9, 2005).
- 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論文誌 (2006 年 7 月掲載決定).

- 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 掲載決定).

(2) 特許出願

H17 年度出願件数 : 8 件 (CREST 研究期間累積件数 : 19 件)