Vol.2015-CH-106 No.1
2015/5/16

Perfume のダンスはなぜ難しいのか？―多変量ヒルベルトーファン変換によるモーション解析

蔡東生[†1]　董然[†1]　浅井信吉[†2]

ヒルベルトーファン変換（Hilbert-Huang Transform:HHT）は、経験的モード分解により、信号を複数の固有モード関数に分解し、ヒルベルト変換をかけ、時間周波数特性を分析する。時間周波数特性への鋭敏性は、フーリエ変換、ウエーブレット変換より遥かに鋭敏で、本報告では、多変量 HHT を用い、パヒューム、能楽、文楽などの動作を、ワルツ、ヒップホップ、サルサなどの踊りと比較する。

Dance Motion Analyses of Perfume using Hilbert-Huang Transform

DONGSHEN CAI[†1]　DONG RAN[†1]
NOBUSHOSHI ASAI[†2]

A new method for analyzing a set of multivariate nonlinear and non-stationary motion data has been developed. The key part of the method is the “empirical mode decomposition (EMD)” method with which any complicated multivariate motion data set can be decomposed into a finite multivariate “intrinsic mode functions (IMF)” that can Hilbert-transform later[Huang and Shen, 2005]. This motion decomposition method is adaptive and sensitive to noises. Since the motion decomposition is based on the local characteristic time scale of the multivariate joint data, it is applicable to nonlinear and non-stationary motion processes. Applying the Hilbert transform to the multivariate joint “intrinsic mode functions (IMF)” yield a set of instantaneous frequencies as functions of time that give imbedded structures of decomposed motions. The results are an energy-frequency-time distribution of joint motions, designated as the Hilbert spectrum. Using all three dancers’ noisy motion capture data to decompose the motion, extremely complicate motions by the nonlinear and non-stationary effects, for example, dance turning motions, are clearly decomposed in the energy-frequency-time distribution.

1. はじめに

近年、舞踊動作に関する解析と評価および自動生成の研究が数多く行われ、舞踊動作の保存と分析などに応用されている。そのため、正しく舞踊動作の特徴を抽出することが望まれている。

本研究ではそれらの研究を踏まえて、ヒルベルトーファン変換（HHT）[1-3]を用いた舞踊動作スペクトル分析の新手法を提案し、周波数領域での動作解析を試みる。そして、舞踊動作は音楽のリズムに強い相関があるため、本研究はビートトラッキングと併用し、ダンスにおける舞踊動作への応用手法を用いて舞踊動作の解析を試みる。

[a].

2. ヒルベルトーファン変換

(1) ヒルベルト変換

ヒルベルト変換とは、観測された原信号を単色波 $x(t) = A\cos(\omega_0 t)$ と仮定し、解析信号 $z(t) = z_r(t) + iz_i(t)$ を求めるものである[3]。そこで、原信号のフーリエ変換は

$$F[x(t)] = F[A\cos(\omega_0 t)] = F[A\frac{e^{i\omega_0 t} + e^{-i\omega_0 t}}{2}] = A\frac{\delta(\omega-\omega_0)+\delta(\omega+\omega_0)}{2}$$

一方、解析信号 $z(t) = z_r(t) + iz_i(t) = Ae^{i\omega_0 t}$ のフーリエ変換は $F[z(t)] = A\delta(\omega-\omega_0)$。すなわち、解析信号を求めるには、原信号の負の周波数成分を除去して残りを 2 倍して、逆フーリエ変換する必要がある。計算した結果、解析信号は以下の式になる。

$$z(t) = x(t) + i(\frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{x(\tau)}{t-\tau}d\tau)$$

解析信号 $z(t) = z_r(t) + iz_i(t)$ の実数部 $z_r(t)$ は観測された原信号 $x(t)$ で、虚数部 $z_i(t)$ は

$$z_i(t) = y(t) = \frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{x(\tau)}{t-\tau}d\tau = \frac{1}{\pi t} * x(t)$$

の式で求められる。 $y(t)$ を信号 $x(t)$ のヒルベルト変換と呼ぶ[3]。したがって、実世界で観測された原信号にヒルベルト変換をかけることで解析信号が得られるため、瞬時周波数と瞬時振幅が求められるようになる.

(2) 経験的モード分解

経験的モード分解はすべての信号が有限な固有モード関数（IMF）と残余で構成されると仮定する[1-2]。$c(t)$ は IMF、$r(t)$ は残余で信号のトレンドとも定義されている。

$$x(t) = \sum_n c_n(t) + r(t)$$

†1 筑波大学
University of Tsukuba.
†2 会津大学
Kyoto University

IMF 関数とは、以下の二つの条件を満足する関数である[1-2]。

（1） 信号の極値の数と零交差の数が等しいか差が 1 である。
（2） 任意の時刻において、極大値を結ぶ包絡線と極小値を結ぶ包絡線の平均値が零である。

信号をヒルベルト変換かける前に、まず周波数の高い順からいくつかの IMF に分解して、β をカットして信号を原点に戻す。この分解の過程は経験的モード分解（EMD）と呼ぶ[1-2]。EMD で分解した IMF はヒルベルト変換の単色波仮定条件 $A\cos(\omega_0 t)$ に満足する。各 IMF にヒルベルト変換をかけることによって、原信号の瞬時周波数を正しく求めることができる。

EMD アルゴリズム

EMD 分解の手順は以下の通り[1-2]

1．残余 $r(t)$ を計算（最初の $r(t)=x(t)$ とする）

$$r(t)=x(t)-\sum_n c(t)$$

2．$c(t)=r(t)$ と初期化して IMF を取り出す。

a) $c(t)$ の極大値を結ぶ包絡線 $u(t)$ と極小値を結ぶ包絡線 $l(t)$ を求める。

b) $c(t)$ から上下包絡線の平均を引く

$$c_{new}(t)=c_{old}(t)-\frac{u(t)+l(t)}{2}$$

c) $c(t)$ が下記の収束条件（SD が 0.2～0.3 の間）に満足する場合、IMF 集合に追加する。満たさない場合は a) と b) を繰り返す。

$$SD=\sum_t \frac{(c_{old}(t)-c_{new}(t))^2}{{c_{old}}^2(t)}$$

3．すべての IMF を取り出すまで 1～2 を繰り返す。

EMD Example

図 1 が示す人工信号 $x(t)=\cos(90\pi^2 t+20\pi t)$ と人工信号 $\cos(-90\pi^2 t+200\pi t)$ を足し合わせた信号 $x(t)=\cos(90\pi^2 t+20\pi t)+\cos(-90\pi^2 t+200\pi t)$ に対して EMD を行なう。図 1 は信号を解析して生成した IMF 集。ここで、トレントはプロットしてない。図の示すように、EMD は信号を高周波から低周波まで分解していくことが分かる。

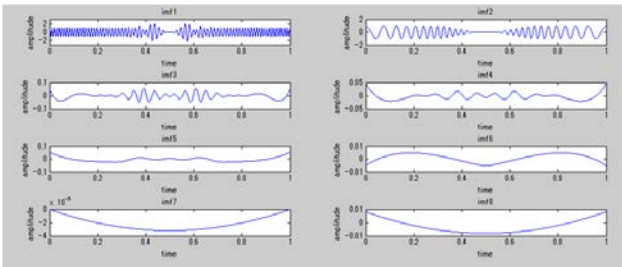

図１：サンプル信号の経験的モード分解

3. Perfume ダンスモーション解析

この章では Perfume 舞踊動作のヒルベルトーファン変換による検証実験を行う。舞踊動作のデータは、日本の女性 3 人組テクノポップユニット Perfume の BVH データを使用する。ウィキペディアによると、Perfume のダンスは、パッと見てキャッチーで簡単そうに見えて、実は難しいと言われている。MIKIKO （振付師）自身は、「Perfume の曲から受け取るイメージは、現在ではなく近未来、有機的というよりも無機質なもの。そんなこともあって、なるべく人間離れした質感を出せるように、所々のポージングや目線をマネキン･人形風にしていますね。」と言った。

一方、Perfume の楽曲は、ハウスミュージックの流れをくんだテクノポップと一般的に位置づけられている。Perfume の舞踊動作を周波数ごとに分けることによって、Perfume の舞踊動作特徴を分析する。

「Perfume GLOBAL SITE PROJECT」プロジェクトは 2012 年 3 月 30 日から始まった。このプロジェクトは、Perfume のモーションキャプチャで採集したモーションデータを BVH のファイル形式をウェブサイト上で公開している。そして、その歌に合わせる音楽も WAV のファイル形式も公開されている。プロジェクトは世界中のクリエイターにアニメーションを作ってもらうのが本来の目的だが、本研究は Perfume モーションデータを解析し、ヒップホップ、サルサ動作を比較し、Perfume の踊りの特徴を明らかにすることによりヒルベルトーファン解析の有用性を検証する。

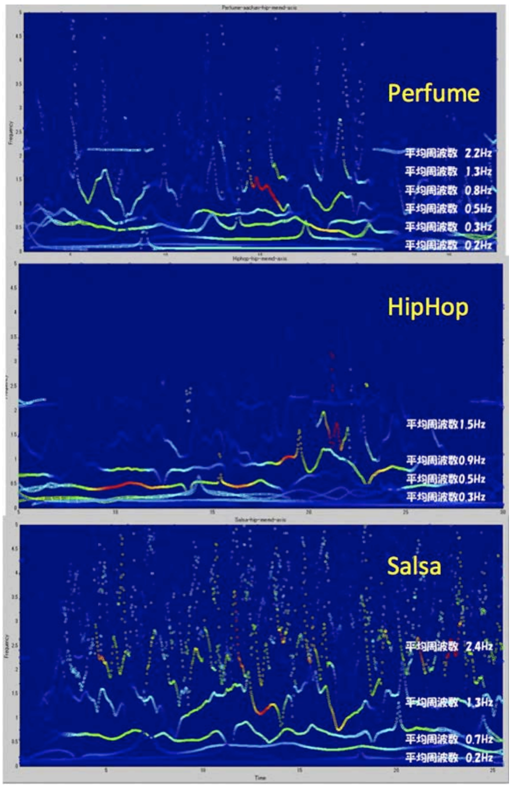

図２：Perfume の踊りとヒップホップ,サルサとの比較.

図 3：解析対象の Perfume の 3 人のダンスモーション

図２は Perfume3 人のダンスモーション全ての関節データを NA-MEMD[1-2]を用い、ヒルベルト-ファン変換により,25 秒間の Perfume, ヒップホップ,サルサのダンスモーションを比較した図である. これから分かることは,分解された Perfume の動作は他のヒップホップ、サルサの 4 モードより多く、6 モードと最多である。それにも関わらず、Perfume の各モードの平均周波数は比較的強い周波数を持ち、はっきりとしたモードになっている。さらに、0.2+0.3=0.5, 0.3+0.5=0.8, -0.5+0.8=1.3Hz……などと、フィボナッチ数の関係を偶然かどうか分からないが、構成しており､その動作モードの規則正しさが示されている。しかし、検証のため,さらなる解析が必要である。

4. まとめ

本報告ではヒルベルトーファン変換を用い、Perfume 舞踊動作の解析を行った。その結果、3 人の動作の全関節を NA-MEMD と呼ばれる手法を用いることにより、ノイズの低減に成功し、6 程度のモードに分解することに成功した。その結果、Perfume の踊りは単純そうにみえるが、動きのモード数は普通の踊りより多く、また、その周波数には一定の規則（フィボナッチ数列）が見られ、かなり難しい踊りであることが判明した。しかし、さらなる解析が必要である。

謝辞　本論文では「Perfume GLOBAL SITE PROJECT」プロジェクトのデータを用いた. また､HHT プログラムは, Matlab Exchange の HHT プログラムを用いた.

参考文献

1) E. Huang Norden & Samuel S. P. Shen (2014). *Hilbert-Huang Transform and Its Applications (Interdisciplinary Mathematical Sciences).* World Scien-tific Pub Co Inc Press. 2nd Edition.
2) 鷲沢嘉一，田中聡久(2007). 「経験的モード分解： チュートリアル」 第 22 回 信号処理シンポジウム (http://www.sip.tuat.ac.jp/~tanaka/pdf/A7-1.pdf).

3) Ronald N. Bracewell (1978). *Fourier Transform and Its Applications.* US: McGraw-Hill Inc Press.