東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科

修士論文

論文題目

ヒルベルト-ファン変換を適用したゴルフスイング解析

指導教員

生 野 壮 一 郎

提出日　　　　20XX 年　　X 月　　X 日

提出者

専　　攻	コンピュータサイエンス専攻
学籍番号	Ｇ ２ １ ２ １ ０ ２ １
氏　　名	木 村　勇 大

修士論文要旨

論 文 題 目	ヒルベルト-ファン変換を適用したゴルフスイング解析
執 筆 者	木 村　勇 大
指 導 教 員	生 野 壮 一 郎 教授

修士論文の概要を記述.

注 1：和文要旨—800 字程度

Abstract

Title	Numerical Analysis of Golf Swing using Hilbert-Huang Transformation
Author	Y u d a i K i m u r a
Supervisor	Professor S o i c h i r o I k u n o

Write an abstract of your Paper.

注１：英文要旨—500 ワード程度

目 次

図 目 次

表 目 次

第1章

例：序論

第2章

ヒルベルト・ファン変換

ヒルベルト・ファン変換（HHT : Hilbert Huang Transform）とは，信号 $x(t)$ を，経験的モード分解（EMD : Empirical Mode Decomposition）より，有限の固有モード関数（IMF : Intrinsic Mode Function）$\sum_{k=1}^{n} \mathrm{IMF}_k$ と一つの残差に分解し，分解した IMF_k にヒルベルト変換を適用させ，瞬時周波数 $\omega(t)$ と瞬時振幅 $A(t)$ を求める手法である．

2.1 EMD

EMD とは，信号 $x(t)$ が有限の固有モード関数 $\mathrm{IMF_k}$ と残差 $r(t)$ で構成されていると仮定し，ヒューリスティックに分解する．EMD の式を以下で示す．

$$x(t) = \sum_{k=1}^{n} \mathrm{IMF}_k + r(t) \tag{2.1}$$

IMF_k は，以下の 2 つの条件を満たす．

- 局所的極値の数とゼロ交差の数が 0，または 1 であること．
- 局所的極値から構成された上側包絡線と下側包絡線の平均値が 0 であること．

EMD のアルゴリズムを以下に示す．

1. 残差を計算．($r(t) = x(t)$ とする．)

$$r(t) = \sum_{k=1}^{n} \mathrm{IMF}_k - x(t) \tag{2.2}$$

2. $\mathrm{IMF}_{\mathrm{old}}(t) = r(t)$ と初期化して，IMF_k を取り出す．

   (a) $\mathrm{IMF}_{\mathrm{old}}(t)$ の極大値を結ぶ包絡線 $u(t)$ と，極小値を結ぶ包絡線 $l(t)$ を三次スプライン補完で求め，$u(t)$ と $l(t)$ の平均を $\mathrm{IMF}_{\mathrm{old}}(t)$ から引く．

$$\mathrm{IMF}_{\mathrm{new}}(t) = \mathrm{IMF}_{\mathrm{old}}(t) - \frac{u(t) - l(t)}{2} \tag{2.3}$$

(b) $\mathrm{IMF}_{\mathrm{new}}(t)$ が収束条件 SD($0.2 \leq SD \leq 0.3$) を満たす場合，IMF 集合に追加し，満たさない場合は (a)，(b) を繰り返す．SD の収束条件は以下の式である．

$$SD = \sum_{t=1}^{n} \frac{(\mathrm{IMF}_{\mathrm{old}}(t) - \mathrm{IMF}_{\mathrm{new}}(t))^2}{\mathrm{IMF}_{\mathrm{new}}(t)^2} \tag{2.4}$$

3. $\sum_{k=1}^{n} \mathrm{IMF}_k$ が全て取り出されるまで，1，2 を繰り返す．

2.2 多変量経験的モード分解

一般に，多チャンネルに拡張された経験的モード分解として，多変量経験的モード分解（MEMD : Multivariate EMD）が提案されている．本研究では，複数のセンサからヒトの動作を採取するため，MEMD を採用する．

2.3 解析信号

解析信号は，実信号が負の周波数成分を持たない信号として定義される．以下に，解析信号の式を示す．

$$z(t) = z_r(t) + iz_i(t) \tag{2.5}$$

実信号 $z_r(t) = x(t)$ のスペクトル $X(\omega)$ とし，$x(t)$ と $X(\omega)$ を以下の式で表現する．

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int X(\omega) e^{i\omega t} d\omega \tag{2.6}$$

$$X(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int x(t) e^{-i\omega t} dt \tag{2.7}$$

以下は，解析信号を導出した式である．この解析信号は，正の周波数部分のみから成り立つことから，フーリエ逆変換から得られる．

$$z(t) = 2\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty X(\omega) e^{i\omega t} d\omega \tag{2.8}$$

2.8 式の係数 2 は，解析信号の実部を $x(t)$ と等しくするためのものである．よって，2.7 式を用いると 2.8 式は,

$$\begin{aligned} z(t) &= 2\frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \int x(t') e^{-i\omega t'} e^{i\omega t} dt' d\omega && (2.9) \\ &= \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \int x(t') e^{i\omega(t-t')} dt' d\omega && (2.10) \end{aligned}$$

ここで，ステップ関数 $u(\omega)$ のフーリエ変換式は以下の式である．

$$\int_0^\infty u(\omega) e^{i\omega x} = \pi\delta(x) + \frac{i}{x} \tag{2.11}$$

2.11 式を用いると，2.10 式は,

$$z(t) = \frac{1}{\pi}\int x(t')\left[\pi\delta(t-t') + \frac{i}{t-t'}\right]dt' \tag{2.12}$$

となるため，結果以下の式のように解析信号が導出される．

$$z(t) = x(t) + \frac{i}{\pi}\int \frac{x(t')}{t-t'}dt' \tag{2.13}$$

ここで，$x(t) = z_r(t)$ に戻し，2.13 式の第 2 項を $z_i(t)$ とおくと，$z_i(t)$ は以下の式のように表現することができる．

$$z_i(t) = H[z_r(t)] = \frac{1}{\pi}\int \frac{x(t')}{t-t'}dt' \tag{2.14}$$

2.4 ヒルベルト変換

前節では，解析信号の導出について説明したが，その虚部 $z_i(t)$ は，2.14 式よりヒルベルト変換で求められることを示した．ヒルベルト変換とは，与えられた関数の周波数成分の位相を $-\frac{\pi}{2}$ ずらす操作である．以下は，信号 $x(t)$ のスペクトルを $X(t)$ とした時のヒルベルト変換式の導出を示す.

実信号 $x(t) = \cos(\omega t)$ と直交する虚部は,

$$\cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \sin(\omega t) \tag{2.15}$$

である．よって，実部 $\cos(\omega t + \phi)$，虚部を 2.15 式より $\sin(\omega t + \phi)$ とし，複素指数関数を立式すると以下の式のようになる．

$$e^{i(\omega t+\phi)} = \cos(\omega t + \phi) + i\sin(\omega t + \phi) \tag{2.16}$$

2.16 式に，虚数単位 $-i$ を 1 回かけると

$$-ie^{i(\omega t+\phi)} = -i\cos(\omega t + \phi) + \sin(\omega t + \phi) \tag{2.17}$$

となる．この時の実部は $\sin(\omega t + \phi)$ となり，2.16 式の実部より $\frac{\pi}{2}$ 遅れていることが確認できる．さらに，2.17 式に $-i$ をかけると,

$$-e^{i(\omega t+\phi)} = -\cos(\omega t + \phi) - i\sin(\omega t + \phi) \tag{2.18}$$

となり，実部に注目すると 2.17 式の実部より，位相が $\frac{\pi}{2}$ 遅れていることが確認できる．

$$-\cos(\omega t + \phi) = \sin(\omega t + \phi - \frac{\pi}{2}) \tag{2.19}$$

すなわち，虚数単位 i をかけることで，$\frac{\pi}{2}$ 位相を遅らせることができる．しかしながら，これは連続された関数のみに適応が可能であるため，離散的関数の位相を $\frac{\pi}{2}$ 遅らせるには,$-i\mathrm{sgn}(f)$ をかける必要がある．

実信号 $x(t)$ のスペクトルを $X(t)$ とする時，全ての周波数成分の位相を $\frac{\pi}{2}$ 遅らせるには,スペクトル $X(t)$ に $-i\mathrm{sgn}(f)$ をかけ，その結果をフーリエ逆変換する必要がある..

第3章

ゴルフスイングのバイオメカニズム

3.1　ヘッドアップ動作

3.2　身体が開く動作

第 4 章

解析結果

4.1 ゴルフスイングの数値化

4.2 被験者情報

4.3 スペクトログラム解析

4.3.1 頸部，左膝モーションの IMF1

4.3.2 頸部，左膝，左腿モーションの IMF4

第5章

結論

謝辞

本テンプレートは，以前，塙先生や生野先生をはじめとする先生方が作成管理していた東京工科大学の論文用テンプレートを参考させて頂きました．先のテンプレートがなければ，本テンプレートも存在しなかったといっても過言ではありません．この場を借りて感謝の意を表します．また，テンプレートを作成し公開したいという申し出に快く賛成・協力してくださった星先生，大学院課の早川さんにも大変感謝しています．そして，テンプレートを作成に関わったすべての人にも感謝します．本当にありがとうございました．（平成 21 年 G2108021 品田良太 作成）

業績

[1] 岡田昌浩, 井上亮文, 星徹, “投映面の特性を 3DCG に反映させるシステム SUNDIAL の色認識機能への拡張”, 情報処理学会研究報告, Vol.2015-EC-35, No.16, pp.1-7, 2015.

[2] 松尾豊, “なぜ私たちはいつも締め切りに追われるのか”, http://ymatsuo.com/papers/neru.pdf, 2015 年 6 月閲覧.

付録 A

ソースコード

A.1 CONTENT

リストファイルを**プログラム A.1** に示す.

プログラム A.1: CONTENT

```
CONTENT:ファイルの説明

00CONTENT   :このファイル
00README :README
00abstract.tex  :概要
00eabstract.tex  :英語概要
01preface.tex  :第 1章 はじめに
02related.tex  :第 2章 関連技術
03approach.tex  :第 3章 提案
04implement.tex  :第 4章 実装
05assessment.tex :第 5章 評価
06conclusion.tex :第 6章 おわりに
07ack.tex   :謝辞
08publications.tex :業績
09appendix.tex  :付録
hello.c   :Hello World を表示するプログラムコード
jlisting.sty  :listings 環境を使用するためのファイル
listings.cfg  :listings 環境を使用するためのファイル
listings.sty  :listings 環境を使用するためのファイル
lstdoc.sty  :listings 環境を使用するためのファイル
lstlang1.sty  :listings 環境を使用するためのファイル
lstlang2.sty  :listings 環境を使用するためのファイル
lstlang3.sty  :listings 環境を使用するためのファイル
lstmics.sty  :listings 環境を使用するためのファイル
mybib.bib  :参考文献 (文献データベース)
mylatex.sty  :自分向けスタイルファイル
teulogo_new.eps  :画像の表示に用いたサンプル
thesis-master.sty :(大学院CS 専攻用)
thesis.pdf  :テンプレートを組み版したPDF ファイル
thesis.tex  :論文のメインファイル
```