PWM-FM 変調方式を採用した運動計測テレメータシステムの開発

正 員 影山芳之 (東海大学) 非会員 池田研二 (東海大学)
正 員 湯ノ口万友 (鹿児島大学)

A Development of PWM-FM Telemetry System for Measurement of Human Movement
Yoshiyuki Kageyama, Member, Kenji Ikeda, Non-member (Tokai University)
and Kazutomo Yunokuchi, Member (Kagoshima University)

キーワード：運動計測，振動ジャイロ스코プセンサ，テレメータ

1. はじめに

身体の動きの計測・解析は，医学，ロボット工学，機械工学等の分野に応用するために古くから研究されてきた。特に歩行の運動計測は，関節角度計や加速度計等を身体に装着して局所的な運動を計測する方法や，画像や位置検出型カメラを用いて全身の運動を計測する方法などが研究され，整形外科やリハビリテーション等の分野で，異常歩行運動の分析や治療効果の評価に利用されている^{(1)~(4)}。

本研究では，どのような場所でも使用できる無拘束の運動計測方法として，PWM-FM 変調方式を採用した運動計測テレメータシステムを開発し実用性について検討したので報告する。

2. テレメータシステムの概要

開発した PWM-FM 変調方式を採用した運動計測テレメータシステムを図 1 に示す。運動検出用のセンサは，村田製作所(株)製の振動ジャイロ스코プセンサを利用した。このセンサは角速度センサで，小型軽量，応答速度が速い，低電圧駆動等の特徴を持つ。このセンサで身体の左右方向の運動を検出できるように，センサの検出方向を身体の左右方向に合わせて頭頂部に装着した。センサの出力信号は，温度ドリフトの影響とセンサ内部で生じるノイズを除去するために，0.3Hz~1kHz のバンドパスフィルタを経て，PWM 変調回路で約 700Hz の方形波に変調され，FM 変調回路を通して約 78MHz で送信される。

受信装置は FM ラジオを改造して製作した。受信した信号を最初に FM 復調し，次にシュミット・トリガ回路で PWM 変調波の波形整形を行い，ノイズ等の影響を最小限に抑えるようにした。最後に，2 次のローパスフィルタを通して PWM 変調された信号を復調し，記録計に出力した。センサを検出方向に運動させたときのセンサの出力信号波形と，受信装置からの出力波形を同時に記録した結果を図 2 に示す。2 つの波形は良く一致しており，ノイズ等の影響もほとんど見られず，非常に鮮明であった。またセンサの移動量に比例して出力波形は大きくなり，移動速度に比例して出力波形の立ち上がり時間が速くなることも明らかになった。なお，開発した送信装置の大きさは 110mm×140mm×30mm，駆動用の乾電池 3 本を含めた重さは

図 1 PWM-FM 変調方式テレメータの構成図
Fig.1 Block diagram of PWM-FM telemetry

320g，送受信可能な距離は最長 30m である。

3. 歩行運動の計測

歩行中の頭部の左右運動を計測するために，健常な男子を被験者として計測を試みた。被験者には，歩行速度は特に指定せず，(a) 歩行停止直立状態，(b) 通常の歩行，(c) 障害物がある場合の歩行の 3 種類の歩行運動を指示し，研究室内を歩行してもらった。

図 3 に 3 種類の運動中に得られた角速度波形を示す。直立状態では，(a) のように出力波形はほとんど観測されなかったが，時間の経過と共にわずかに頭部が動くために，微弱な波形が観測されるようになった。また約 6 m の直線を通常の歩行で往復した場合，(b) のように折返し点を除くと歩行中の波形は規則的で，ある周期を持って頭部が左右に運動していることがわかった。この周期は被験者の歩行速度と歩幅にも関係していると思われる。次に直線上に椅子等の障害物を設置すると，視線を障害物に移動させるために頭部も同時に移動する。そのために (c) のように歩行運動に無関係な頭部運動によると思われるランダ

(a) センサの出力波形

(b) 受信波形

図2 センサの出力波形と受信波形の比較

Fig.2 Comparison between an output signal of sensor and a received signal

ムな出力波形が実験開始後観測された。しかしながら、時間経過と共に被験者が障害物の位置を把握してしまうために、ランダムな波形は徐々に消滅し、実験開始後1分では(b)の波形とほとんど同じようにある周期を持った波形となった。このような場合、頭部以外にもセンサを装着し、身体の一部で運動計測を行う必要があると思われる。

振動ジャイロスコプセンサは、検出方向だけでなく実際には全ての方向の角速度をわずかが検出してしまふ。そこで被験者に(1)首の前屈運動と(2)カカトの上下運動を行わせ出力波形を観察した。その結果、頭部の前後運動や上下運動による出力波形は、最大でも4 mV程度と小さく、検出方向に比べると無視できるレベルであった。

4. まとめ

開発した計測装置は、送・受信部ともに乾電池が電源となっているために野外での計測も簡便に行える利点がある。今回の実験で計測装置の実用性が確認できたので、今後は、チャンネル数を増加し身体の一部にセンサを装着して運動の特性を解析すると共に、機能回復訓練の評価に応用できるかを検討したい。(平成8年5月16日受付)

文 献

- (1) 池田研二:「振動・運動の計測」, 臨床検査, 33-4, 439, 医学書院, 1989
- (2) 山本澄子:「歩行の運動計測」, BME, Vol.5, No.5, 7, 1991
- (3) 稲永潔文, 他:「頭部運動による動的頭部伝達関数を模擬したヘッドホンシステム」, 信学技法 EA94-94, 8, 1995
- (4) 高橋隆行, 他:「歩行運動の無拘束計測のための歩行形態分析アルゴリズム」, 医用電子と生体工学, JJME Vol.33, No.2, 125, 1995

(a) 直立静止状態

(b) 通常歩行中

(c) 障害物がある場合

図3 頭部運動による出力波形の例

Fig.3 Example of output signals of human movement under several conditions

影山 芳之 (正員) 1960年9月27日生まれ。

池田 研二

(正員) 1935年8月29日生まれ。1968年東京大学大学院博士課程修了。同年東京大学工学部助手, 1994年同講師。1996年東海大学開発工学部教授, 現在に至る。医用計測技術に関する研究に従事。日本ME学会, IEEE等の会員。工学博士

湯ノ口万友

(非会員) 1950年11月11日生まれ。1975年鹿児島大学大学院修士課程修了。同年同大学工学部助手, 1994年鹿児島大学電気電子工学科助教授となり現在に至る。生体の磁気刺激, 生体電位計測に関する研究に従事。日本ME学会, IEEE等の会員。工学博士

(正員) 1950年11月11日生まれ。1975年鹿児島大学大学院修士課程修了。同年同大学工学部助手, 1994年鹿児島大学電気電子工学科助教授となり現在に至る。生体の磁気刺激, 生体電位計測に関する研究に従事。日本ME学会, IEEE等の会員。工学博士