光計測における二重センサによるノイズ消去法

正会員 嶺 勝 敏* 准 員 勝 田 洋*

A method of noise cancelling for an optical instrumentation using a dual-sensor

Katsutoshi Mine (Member) Hiroshi Katsuda (Sub Member)

(Kyusyu Institute of Technology)

ABSTRACT

In industrial working condition, signals by an instrumentation with an optical sensor are inaccurate because of noise. If the signal and the noise are separated in the frequency domain, the noise can be reduced by filtering or using a cepstrum.

In this paper, we produced two signals. In order to do this we connected two serial sensors thereby producing one signal. The other signal was produced by connecting the inverse of these two sensors. This method enables us to obtain a reliable signal without any noise on the signal line even if signal and noise could not be separated in the frequency domain. In this case "any noise" means under a quarter frequency of the analog switch.

We propose to call this method alternating Noise Cancelling (ANC). The accuracy of the ANC method has been verified by examples using sinusoidal and other noises.

1. ま え が き

光と放射の物理測定が、第21回CIE大会の第2部門で論じられている¹⁾。光と放射の測定には、光電形や焦電形の光センサが多く用いられるが、光センサの光電変換または焦電変換以前に入る光学的ノイズ、背景光の影響が問題となる場合においては、演算処理によって補正したり²⁾、照明環境や雰囲気の変化にともなう液晶の発色変動を対象と併設した標準温度—小発生器により補正する³⁾等の研究がなされている。光センサ及び計測回路自身からは、電子が粒子であることによる不規則ノイズが発生する⁴⁾が、不規則ノイズには、Kalmanフィルタで対応することができ⁵⁾。

信号とノイズが加法的に限らず、乗法的であっても周波数分離が可能であれば、フィルタまたはケプストラムによってノイズを除去することができる⁶⁾。また、信号とノイズが周波数分離できない場合でも、参照ノイズが得られれば適応形ノイズキャンセラによりノイズを除去することができ⁷⁾、同様に固有ノイズが特定できれば固有ノイズを除去できる⁸⁾。本論文では、光計測において、光電変換または焦電変換以後における信号線の伝導ノイズが信号と周波数分離できないだけでなく、参照ノイズが得られず固

有ノイズも特定できない場合にも有効なノイズ除去法として交互ノイズ消去法(ANC法)を提案している。

2. ANCの原理

産業における光応用計測のみならず一般的な光計測のモデルとして、白熱電球光のフォトリランジスタによる計測が考えられる。このような計測を行うに当たって、信号線に伝導ノイズが発生した場合におけるノイズ消去法の一例(ANC法)を図1に示す。

図1のセンサは例えばフォトリランジスタを意味している。

この2つのセンサの出力をアナログスイッチによって、周期的に直列接続したりあるいは逆直列接続しており、信号線の伝導ノイズは試験法⁹⁾に基づいて加えている。ここで、2つのセンサの特性が等しいものを用いると、直列接続すると2倍の信号とノイズが、また逆直列接続だと、ノイズのみが伝送されることになる。この2つの信号は、アナログスイッチにより時分割され、1つの伝導線路で伝送され、AD変換器を通して計算機に取り込まれる。そこで、補間処理をすると共に、直列接続の信号値から逆直列接続の信号値を差し引くことによってノイズ成分が取り除かれた所望の信号値を得る。

ANC法の原理を図2に示す。

図2(a)(A)の波形は直流ノイズを含んだ2倍の出力であり、2つのセンサがアナログスイッチによって直列に接続されたときのものである。同図(B)の波形は、直流ノイズのみの波形、すなわち逆

*九州工業大学工学部電気工学科

〒804 北九州市戸畑区仙水町1-1

1-1 Sensiu-cho, Tobata-ku, Kitakyushu 804 Japan

本論文の一部は、昭和63年電気関係学会九州支部連合大会にて発表済みである。

図1 ANC法による光計測システムのブロック図

図2 (a) ANC法の原理図 (直流ノイズ印加時)

図2 (b) ANC法の原理図 (正弦波ノイズ印加時)

直列接続のときの波形である。同図(A)及び同図(B)のデータの無いところは補間処理を施し、それぞれ同図(A)から同図(B)を差し引く演算処理を行ったものが同図(C)の波形である。すなわち、この同図(C)の波形が、ノイズが除去された所望の信号である。また、図2(b)に正弦波ノイズを印加したときのそれぞれの信号を示す。同図(A)の波形は、正弦波ノイズを含んだ2倍の出力波形で、歪んでいることがわかる。同図(B)がノイズのみの波形で正弦波が印加されていることがわかる。同図(A)から同図(B)を差し引く演算処理を行うと同図(C)の波形が、すなわち所望の信号が得られることになる。なお、正弦波ノイズを混入した場合の検証波形を図4及び図6に、方形波ノイズを混入した場合の検証波形を図7にそれぞれ示す。

3. 実験結果

写真1に示すような実験装置を試作した。実験に使用したセンサとしては、即応性フォトトランジスタを用い、光源としては100V、60Wの白熱電球を用いた。白熱電球には、60Hzの商用周波数を用いているため、センサ出力としては120Hzの正弦波が得られる。

表1に実験に使用した器具を示す。

データを演算処理するときのフローチャートを図3に示す。図3(a)は一次補間の場合である。Xを離散時刻とすると、図3(a)と図2(a)よりYAは $y(x)$ と $y(x-2)$ との平均値で、YSは実際のデータ $z(x-1)$ から、平均値YAを差し引く演算処理である。同図(b)はニュートン補間の場合である。一次補間と異なり、4つの点から値のない点を推定し、同図(a)と同様に演算処理を行ったものである。

図4に、ノイズの周波数120Hz、スイッチ切り換え周波数10KHz、一次補間を用いた場合の結果を示す。

図4(a)がノイズを含んだ計測信号でノイズのために歪んで現れ

写真1 ANC法の実験装置

表1 実験に使用した器具

品 目	型	メーカー	備 考
センサ	TPS601	東 芝	即応性
アナログスイッチ	MPC801	BURR-BROWN	
差動アンプ	082	JRC	
AD変換器	ADC80	BURR-BROWN	12 bit
マイクロコンピュータ	PC-9801	NEC	
白熱電球		NEC	100V 60W

図 3 データ処理のフローチャート

図 4 一次補間を用いたときの処理波形

図 5 ニュートン補間を用いたときの処理波形

ている。同図(B)がノイズの信号でファンクションジェネレータをノイズ発生器として用い、その出力を変圧器で昇圧し所定のノイズ試験法により印加したものである。同図(C)が演算処理を施した波形である。ここで、ノイズを印加しない場合の波形を真の波形とし、これと同図(C)との相互相関関数の値は、0.980を示した。従って同図(C)の波形を実用的には真の計測信号(所望の信号)と見てよいと考える。

同様に図 5 はデータに図 4 と同じ値を用い、ニュートン補間を用いた結果を示す¹⁰⁾。図 4 と同様、ノイズを印加しない場合の波形を真の波形として、これと図 5 (C)との相互相関関数の値は 0.977 を示した。これも、実用的には真の信号と見てよいと考える。図 6 に、ノイズの周波数 240Hz 一定とし、切り換え周波数を 10, 8, 5, 3 及び 1 KHz に変え、一次補間で処理したときの波形を示す。

ここでは、図 4 のときと同様相互相関関数の値を右下にそれぞれ示した。これによると切り換え周波数がノイズ周波数の 5 倍以下になると、波形が崩れてきて相互相関も悪くなることがわか

(a)切り換え周波数 10KHz の時

(b)切り換え周波数 8 KHz の時

(c)切り換え周波数 5 KHz の時

(d)切り換え周波数 3 KHz の時

(e)切り換え周波数 1 KHz の時

図 6 切り換え周波数を変えたときの処理波形

る。相関関数の値については、周期ごとに多少のばらつきが生じたため、切り換え周波数 5 KHz の場合のデータ 25 個について統計学的処理を行った。表 2 に検定に用いたデータを示す。また、表 3 に計算に必要な値を示した。この表をもとに正規確率用紙にプロットするとほぼ一直線となり正規分布することがわかった。この相関関数の値の有意性を有意水準 5 % で検定した結果を示

表2 測定データ

デ ー タ					Max.	Min.
0.979841	0.982959	0.981136	0.98473	0.980651	0.98473	0.979841
0.986625	0.980531	0.98553	0.980352		0.986625	0.980352
0.983135	0.984238	0.982676	0.984634		0.984634	0.982676
0.981907	0.980512	0.984753	0.980762		0.984753	0.980512
0.982189	0.989055	0.978401	0.987598		0.989055	0.978401
0.977244	0.985747	0.982922	0.983172		0.985747	0.977244

表3 計算表

区 間	代表値	度数 f	u	uf	u^2f	累積度数	累積度数 %
0.977~0.979	0.978	2	-2	-4	8	2	8
0.979~0.981	0.980	6	-1	-6	6	8	32
0.981~0.983	0.982	6	0	0	0	14	56
0.983~0.985	0.984	6	1	6	6	20	80
0.985~0.987	0.986	3	2	6	12	23	92
0.987~0.989	0.988	1	3	3	9	24	96
0.989~0.991	0.990	1	4	4	16	25	100
計	—	25	—	9	57	—	—

$H_0: \mu = \mu_0 (\mu_0 = 1.0)$ を $H_1: \mu \neq \mu_0$ に対して $\alpha = 0.05$ で検定する。

$$R: |t_0| = \frac{|\bar{x} - 1.0|}{\sqrt{V/25}} \geq t(24, 0.05) = 2.064$$

平均値: $\bar{x} = 0.98272$

$$\text{標準偏差: } S = \left\{ 57 - \frac{9^2}{25} \right\} \times \frac{1}{1000^2} = 0.00005376$$

$$\text{分散: } V = 0.00005376 + 24 = 0.00000224$$

$$\therefore |t_0| = \frac{|0.98272 - 1|}{\sqrt{0.00000224/25}} = 57.6$$

$$\therefore |t_0| = 57.6 \geq 2.064$$

従って、有意水準 5% で H_0 は棄却される。

図7 方形波ノイズ印加時の処理波形

ナードイオードの「ノイズ」を利用した。このノイズを 250Hz のローパスフィルタにかけ、帯域制限白色ノイズとして混入した。

この結果をみれば ANC 法処理前はノイズのために計測信号が乱されているが、処理後は所望の計測信号が得られていることがわかる。

4. 結 論

- (1) 光計測において、信号線の伝導ノイズの周波数特性が光信号と等しい場合であってもノイズ除去が可能な二重センサ交互ノイズ消去法 (ANC 法) を開発した。
- (2) 二重センサ交互ノイズ消去法におけるスイッチの切り換え周波数は、信号及び伝導ノイズの最高周波数の 5 倍以上であれば実用上支障ないと考える。
- (3) 交互に出現する 2 倍のセンサ出力値及び伝導ノイズ値の補間法は、スイッチの切り換え周波数が低い場合は、一次補間法よりも例えばニュートン補間法の方がやや好成績であったが、全般的には一次補間の実用性が確認された。
- (4) 二重センサは、入力に対する出力がバランスするように取り付けると共に、分光感度特性、温度特性等の諸特性が等しいものを選定する必要がある。
- (5) ANC 法では光センサ出力は正しい信号として扱うので、背景光や吸収・散乱等の光センサに混入するノイズは除去できない。このような場合は、ロックイン増幅器¹¹⁾などと組み合わせるなどの方法が考えられる。

図8 帯域制限白色ノイズを混入した場合の処理波形

す。

図7は、ノイズに方形波を加え、一次補間で処理したときの波形を示す。これを見ると、ノイズの方形波の立ち上がり立ち下りの点で処理波形に補間誤差によるひげが現れるが、相関係数からも実用的に満足すべき計測信号と考えられる。

図8に、帯域制限白色ノイズを混入し、一次補間で処理したときの波形を示す。白色ノイズは、微小電流でバイアスされたツェ

謝 辞

本研究に終始ご援助を賜った森本祐治技官ならびに卒業研究として熱心にご協力下さった高橋伸樹君、渡部宣哉君と伊藤義文君ならびにご支援下さった旭計器工業㈱深町社長に感謝致します。

参 考 文 献

- (1) 栗岡, 西: 光の放射の物理測定 (CIE ベニス大会特集, 第2部会) 照学誌, **72**-1 (昭63) 11~13
- (2) 相田, 芹田, 中島, 山下, 永村: 背景光の影響を補正したPDSカメラによる三次元座標検出法, 電学論C, 107-7 (昭62) 632~639
- (3) Morimoto, Y., Mine, K. and Seki, T.: A Method of Hierarchical Diagnosis of Thermal Process Using Liquid Crystal, IMEKO XI, Houston, Intelligent Systems, 88-a23, (1988) 183~190
- (4) A. アンブロジー著, 高木・越後訳: 電子ノイズ, 啓学出版 (1988)
- (5) Bozic, S. M.: Digital and Kalman filtering, Edward Arnold (1981)
- (6) Kemerait, R. C. and Childers, D. G.: Signal Detection and Extraction by Cepstrum Cepstrum Techniques, IEEE Trans. on Information Theory, IT-18, 6, (1972) 745~759
- (7) Widrow, B. and Winter, R.: Neural Net for Adaptive Filtering and Adaptive Pattern Recognition, IEEE COMPUTER, 21, 3, (1988) 25~39
- (8) Mine, K., Ogawa, K., Yamada, M., Morimoto, Y. and Jinnouchi, Y.: A Method for the Removal of the Specific Noises, IMEKO XI, Houston, Applications, 88-D3, (1988) 55~62
- (9) SICE産業委員会編: デジタルシステム耐ノイズ設計ガイド昭和63年7月, 170~180
- (10) 戸川隼人著: 数値計算法, コロナ社 (1981)
- (11) 石井 泰: 測定と依号処理, 計測と制御, **15**- (昭51) 76~82