

Weighting된 펄스列을 사용하는 DMTI 시스템의 S/N比改善特性

(An Improvement Performance of S/N Ratio in DMTI System Using Weighted Pulse Trains)

高城 璿*, 李宰均**, 尹賢普*

(Seong Seon Ko, Jae Gyun Yi and Hyun Bo Yoon)

要 約

Staggered pulse train을 weighting시키는 방법이提示되었으며 各各의 境遇에 對한 信號-對-雜音比의 改善 特性을 比較하였다.

컴퓨터 시뮬레이션 結果, staggered pulse train을 weighting시킨 것에 對한 信號-對-雜音比가 uniform pulse train의 境遇보다 훨씬 더 改善되었다. Optimum weighting에 對한 信號-對-雜音比는 Binomial weighting의 境遇보다 더 改善되었으며, 遲延 相殺器의 數의 增加에 따라 信號-對-雜音比가 改善됨을 알았고, 積分 處理 前에 移動 物體 指示器의 出力 펄스를 weighting시킴에 의하여 信號-對-雜音比가 改善됨을 나타내었다.

Abstract

A method of weighting of a staggered pulse train is presented and an improvement performance of the signal-to-noise ratio for each case is compared.

As the result of a computer simulation, the signal-to-noise ratio for weighting of a staggered pulse train is a great improvement on the case of an uniform pulse train. The signal-to-noise ratio of optimum weighting is more improved than that of binomial weighting, it is known that the signal-to-noise ratio is improved as the increasing of the number of delay line cancellers, and it is shown that the signal-to-noise ratio is improved by weighting of the MTI output pulses before the integration process.

I. 序 論

도플러 遷移에 基礎를 둔 移動하는 物體를 通過시 키도록 設計된 디지털 移動 物體 指示器 系統(DMTI System)에서 blind speeds가 나타나는 特性을 除去시

키기 위해 staggered pulse train을 使用할 경우 디지털 移動 物體 指示器 系統에서 생기는 出力 雜音의 펄스-對-펄스 相關으로 인하여 積分 處理 後에 信號-對-雜音比(SNR)의 低下를 일으킨다.^{1),2)}

T. Murakami와 R. S. Johnson은 크라터(clutter)가 가우스 分布인 경우에 對하여 信號-對-크라터 比(SCR)의 改善 因子를 改善시키는 方法으로서 staggered pulse train에 optimum weighting을 한 경우에 對하여 遲延 相殺器의 數에 따른 比較를 紹介하였다.³⁾

本 論文에서는 디지털 移動 物體 指示器 系統에서 雜音이 Rayleigh 分布인 경우에 對하여 信號-對-雜音

*正會員, 東國大學校 工科學 電子工學科
(Dept. of Electronics Eng., Dong Kook Univ.)

**準會員, 東國大學校 工科學 電子工學科
(Dept. of Electronics Eng., Dong Kook Univ.)
接受日字: 1984年 10月 16日

비를 改善시키기 위한 方法으로서 staggered pulse train과 uniform pulse train에 Optimum weighting 과 Binomial weighting을 시켰을 때를 比較하였고, 各各의 경우에 對하여 遲延 相殺器의 數가 2, 3個일 경우에 따른 比較와 weighting coefficient W값이 0.08, 0.3, 1인 경우에 따른 比較를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인하였고 各各의 信號-對-雜音 比에 對한 改善 特性을 比較하였다.

II. Staggered Pulse Train에 對한 傳達函數 및 Weighting方法

Staggered pulse train을 使用하는 디지털 移動 物體 指示器 系統에 관한 信號 處理의 構成圖는 그림 1 과 같다.^{[1][4]}

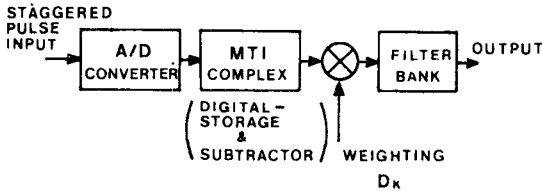


그림 1. Staggered pulse train을 使用하는 디지털 移動 物體 指示器 系統에 관한 信號處理의 構成圖
Fig. 1. Schematic diagram of signal processing for DMTI System using a staggered pulse train.

디지털 移動 物體 指示器 系統에 入力된 staggered pulse信號는 아날로그-對-디지털 變換機를 통하여 移動 物體 指示器(MTI)로 들어간다. 여기서 移動 物體 指示器는 N個의 遲延 相殺器를 갖고있는 多重 遲延 相殺器이다.

Staggered pulse train에 對한 移動 物體 指示器의 傳達函數는^{1, 5}

$$H(f) = \sum_{m=0}^N a_m \exp(-j2\pi f t_m) \quad (1)$$

이다. 여기서 a_m 은 m번째 펄스의 amplitude weighting 係數이고, $t_m = \sum_{i=1}^m T_i$ 인 staggered-prf이다.

移動 物體 指示器의 出力 펄스들은 weighting 因子 D_k 에 의하여 weighting 되고 도플러 필터에서 積分 處理 된다.

Staggered pulse train에 對한 L個의 펄스 필터-뱅크(F·B)의 傳達函數는

$$H(f)_i = \sum_{k=0}^{L-1} D_k \exp[-j2\pi(iK/L + f t_k)] \quad (2)$$

이다. 여기서 $t_k = \sum_{i=1}^k T_i$ 인 staggered-prf이고, D_k 는

$$D_k = W + (1-W) \cos^2 \left[\pi \left\{ \frac{(K+1)}{L} - \frac{(L+1)}{2L} \right\} \right], \quad k=0, 1, \dots, L-1 \quad (3)$$

이며 $W (0 \leq W \leq 1)$ 는 移動 物體 指示器의 出力 펄스를 weighting시키는 weighting 係數이다. 出力 펄스의 數 L은 入力 펄스의 數 M과 遲延 相殺器의 數 N에 관련되며, $L=M-N$ 이다.

移動 物體 指示器에 연결된 필터-뱅크의 i번째 필터에 對한 全體 出力 信號의 電力 傳達函數는 式(1)과 (2)로부터

$$S_{out,i} = S_{in} |H(f_d)|_{MTI}^2 \cdot |H(f_d)_i|_{FB,i}^2 \quad (4)$$

가 된다. 여기서 f_d 는 도플러 주파수이다.

雜音의 크기 $|W|$ 가 Rayleigh 分布되어 있다고 가정하면, 出力 雜音 電力에 對한 예측값은^{[1][5]}

$$N_{out,i} = E\{|W_i|^2/2\} \quad (5)$$

이다.

移動 物體 指示器에 연결된 필터-뱅크의 i번째 필터에 對한 全體 出力 雜音의 電力 傳達函數는

$$N_{out,i} = N_{in} \left(\sum_{k=0}^{L-1} D_k^2 a_m^2 + 2 \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{k=0}^{L-1-n} D_k D_{k+n} a_{\rho, k+n} \cdot \cos \left[2\pi(i/L)n \right] \right\} \right) \quad (6)$$

이다.

i번째 필터의 出力에서 信號-對-雜音 比(SNR)는 式(4)와 (6)으로부터

$$(S/N)_{out,i} = S_{out,i} / N_{out,i} \quad (7)$$

이다. 이 式은 出力 펄스의 數 L에 따라서 積分 處理가 되며 이 積分 處理 後의 信號-對-雜音 比가 디지털 移動 物體 指示器 系統에 對한 全體 出力의 信號-對-雜音 比(SNR)이다. 이때 積分 處理는 detection 前에 積分 處理되는 predetection integration이다.

디지털 移動 物體 指示器 系統(DMTI System)에서 積分 處理 後에 생기는 信號-對-雜音 比(SNR)의 低下 때문에, 이 低下를 改善시키고 blind speeds도 除去시키기 위하여 staggered pulse train을 weighting시키는 方法이 提示되었다. 여기서 weighting시키기 위한 펄스 列은 非 週期的인 펄스 列이 使用되었으며, 그림 2는 staggered pulse train이다.

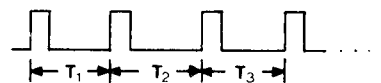


그림 2. Staggering된 펄스 列
Fig. 2. Staggered pulse train.

Blind speeds를 除去하기 위한 staggered-prf system에서는 적절한 펄스 間의 週期를 선택해야 한다. 이론

위하여 PRF stagger design 圖表가 利用된다.^{1,2,16)}

$$(f_a)_{blind} = \alpha = i/T_1 = j/T_2 = k/T_3 = \dots = n/T_n \quad (8)$$

여기서 α 는 blind speed가 나타나는 도플러 주파수이고 단위는 [KHz]이며, 펄스間的週期 T_i 의 단위는 [mS], i, j, k, \dots, n 은 整數(integer)이다.

Staggered pulse train에 對해서 binomial weighting을 시키기 위하여 그림3과 같이 單 遲延 相殺器가 從屬 接續된 遲延 相殺器 回路가 利用된다.^{3,7,8)}

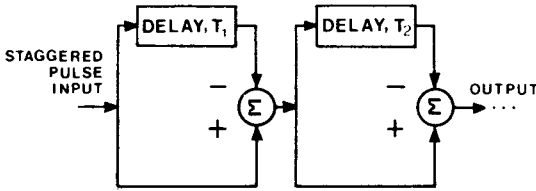


그림3. Staggered pulse train에 對한 從屬 接續된 單 遲延 相殺器
Fig. 3. Cascaded single delay line cancellers for a staggered pulse train.

이 경우에 式(1)의 amplitude weighting係數 a_m 은

$$a_m = (-1)^m \binom{N}{m}, \quad m=0, 1, \dots, N \quad (9)$$

이다. 여기서 $\binom{N}{m} = \frac{N(N-1)(N-2)\dots(N-m+1)}{m!}$ 이다.

遲延 相殺器의 數가 2個일 경우 펄스間的週期 T_1, T_2 는 1, 1.2[mS]로 선택한다.¹²⁾ 이때 i, j 가 整數이므로 첫번째 blind speed가 나타날 도플러 주파수 α 는 5[KHz]가 되며, 5[KHz]의 배수마다 doppler nulls 즉 blind speeds가 나타난다. 이 경우 binomial weighting 係數는

$$a_0=1, a_1=-2, a_2=1$$

이다. 遲延 相殺器의 數가 3個일 경우 펄스間的週期 T_1, T_2, T_3 는 1, 1.2, 1.1[mS]로 선택하고, i, j, k 가 整數이므로 첫번째 blind speed가 나타날 도플러 주파

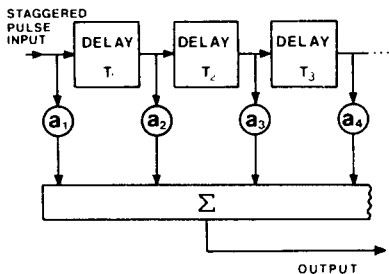


그림4. Staggered pulse train에 對한 各 遲延段에서 weighting된 遲延相殺器
Fig. 4. Delay line cancellers weighted in each delay line for a staggered pulse train.

수 α 는 10[KHz]가 되며, 10[KHz]의 배수마다 blind speeds가 나타난다. 이 경우 binomial weighting 係數는

$$a_0=1, a_1=-3, a_2=3, a_3=-1$$

이다.

Staggered pulse train에 對해서 optimum weighting을 시키는 경우 그림4와 같이 各 遲延段에서 weighting된 遲延 相殺器 回路가 使用될 수 있다.⁶⁻¹⁰⁾

이 경우 遲延 相殺器의 數가 N 個일때 $N+1$ 個의 펄스를 weighting시킨다. 이때의 移動 物體 指示器(MTI)에 관한 傳達函數는

$$H(f) = \sum_{m=0}^N a_m \exp(-j2\pi f t_m) \quad (10)$$

이 된다. 여기서 staggered pulse train을 optimum weighting시켰을 경우와 binomial weighting시켰을 경우를 比較하기 위하여, N 個의 펄스를 weighting시키자 할 때 遲延 相殺器의 數를 $N-1$ 個로 하여야 한다. 이때 그림4는 그림5로 變形된다.

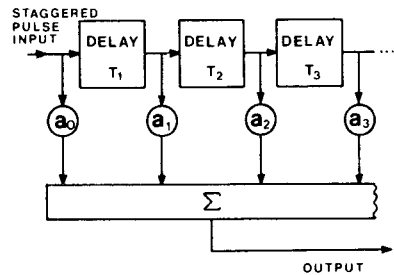


그림5. Staggered pulse train에 對한 變形된 遲延 相殺器
Fig. 5. Modified form of delay line cancellers for a staggered pulse train.

이 경우 式(10)은 式(11)로 表示된다.

$$H(f) = \sum_{m=0}^{N-1} a_m \exp(-j2\pi f t_m) \quad (11)$$

여기서 出力 펄스의 數는 $L=M-(N-1)$ 이다. 그리고 式(6) 역시 式(12)로 變形된다.

$$N_{out,1} = N_{in} \left(\sum_{k=0}^{L-1} \sum_{m=0}^{N-1} D_k^2 a_m^2 + 2 \left[\sum_{n=1}^{N-1} \sum_{k=0}^{L-1-n} \sum_{p=0}^{N-1-n} D_k D_{k+n} a_p a_{p+n} \cdot \cos \left[2\pi(i/L)n \right] \right] \right) \quad (12)$$

Optimum weighting 係數의 크기는¹³⁾

$$a_0=1, a_1=-1.823, a_2=0.833$$

이다. 여기서 遲延 相殺器의 數가 2個일 경우이다. 遲延 相殺器의 數가 3個일 경우

$$a_0=1, a_1=-2.6039, a_2=2.4735, a_3=-0.8696$$

이다. 이때 遲延 相殺器의 數가 2個일 경우와 3個

일 경우에 對한 staggered pulse train에서 펄스間的 週期 T_1, T_2 및 T_1, T_2, T_3 를 선택하는 方法은 binomial weighting을 시키는 경우에서와 같다.

Staggered pulse train에 對하여 移動 物體 指示器 (MTI)의 出力 펄스를 weighting시킬 경우 weighting coefficient W 값이 0.08인 Hamming weighting을 使用하였고, 이것은 側葉 抑制가 매우 큰 長點때문에 效果 적인 weighting으로서 利用되고 있다.^{7,8)}

그리고 本 論文에서는 uniform pulse train의 경우¹¹⁾ optimum weighting과 binomial weighting과의 比較, 遲延 相殺器의 數에 따른 比較, weighting coefficient W 에 따른 比較들을 staggered pulse train에 對한 各 各의 경우들과 信號-對-雜音 比 利得을 比較하기 爲하여 uniform pulse train에 對한 週期 T 를 다음에서와 같이 택하여 도플러 주파수 f_d 에 따른 信號-對-雜音 比로서 나타내었다.

$$(f_d)_{blind} = n \cdot fr \quad (13)$$

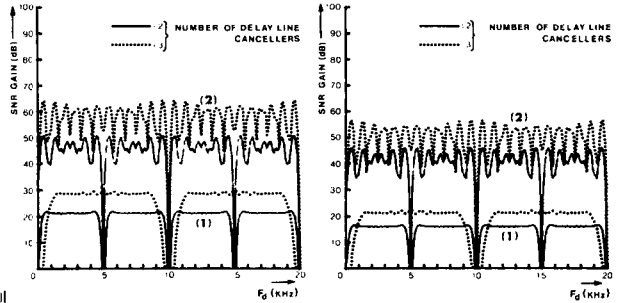
여기서 $fr=1/T$, 펄스 반복 주파수이다. 式(13)으로부터 遲延 相殺器의 數가 2個일 경우 첫번째 blind speed가 5 [KHz]에 나타나도록 하기 위하여, $n=1$ 일 때 週期 T 는 fr 의 逆인 0.2[mS]가 된다. 遲延 相殺器의 數가 3個일 경우 첫번째 blind speed가 10[KHz]에 나타나도록 하면 週期 T 는 0.1[mS]가 된다. uniform pulse train에 對해서와 staggered pulse train에 對해서 weighting시키는 各 경우들에 對한 信號-對-雜音 比 利得들을 比較하기 爲하여 이들 週期들이 利用되었다.

III. 컴퓨터 시뮬레이션

Staggered pulse train과 uniform pulse train에 對한 디지털 移動 物體 指示器 系統(DMTI System)의 各 特性들을 컴퓨터로 시뮬레이션 시켜서 그 結果들을 그림 6과 그림 7에 比較 圖示하였다. 그림에서는 도플러 주파수 f_d 에 따른 信號-對-雜音 比의 變化를 나타내었다.

그림 6은 uniform pulse train과 staggered pulse train 各各에 對하여 binomial weighting과 optimum weighting을 시켰을 경우 遲延 相殺器의 數가 2個와 3個일때에 따른 比較를 나타내었다.

여기서 weighting 方法에 관계없이 staggered pulse train에 weighting시킨 것의 信號-對-雜音 比가 uniform pulse train에 weighting시킨 것 보다 훨씬 더 크게 改善되었다. 또한 펄스 列에 구별없이 optimum weighting시킨 것에 對한 信號-對-雜音 比가 binomial weighting시킨 경우 보다 더 改善됨을 알 수 있

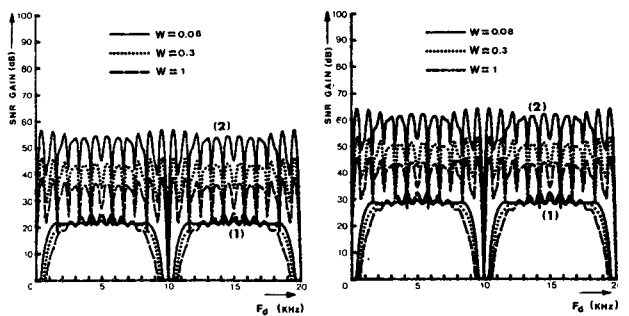


(a) Binomial weighting (b) Optimum weighting

그림 6. 遲延 相殺器의 數에 따른 도플러 주파수 對 信號/對/雜音 比
(1) 一定한 펄스 列 (2) Staggering된 펄스 列
 $M=16$
 $W=0.08$

Fig. 6. SNR vs. doppler frequency with the number of delay line cancellers.
(1) Uniform pulse train (2) Staggered pulse train $M=16$, $W=0.08$.

다. 그리고 staggered pulse train과 uniform pulse train에 binomial weighting과 optimum weighting을 시킨 경우 遲延 相殺器의 數가 3個일 경우의 信號-對-雜音 比가 2個일 경우 보다 더 크게 改善됨을 알았다. 또한 遲延 相殺器의 數가 3個일 경우 10[KHz]의 배수에서 doppler nulls 즉 blind speeds가 나타나고, 遲延 相殺器의 數가 2個일 경우 5[KHz]의 배수에서 blind speeds가 나타나고 있다. 여기서 遲延 相殺器의 數가 3個일 경우가 2個일 경우보다 staggered pulse



(a) Binomial weighting (b) Optimum weighting

그림 7. Weighting coefficient, W 에 따른 도플러 주파수 對 信號/對/雜音 比
(1) 一定한 펄스 列 (2) Staggering된 펄스 列
 $M=16$, 遲延相殺器의 數=3, $L=13$

Fig. 7. SNR vs. doppler frequency with the weighting coefficient, W .
(1) Uniform pulse train (2) Staggered pulse train $M=16$, number of delay line cancellers = 3, $L=13$

train에서 펄스 間의 週期를 더 staggering 시킴에 의하여 blind speeds를 除去시킬 수 있음을 알 수 있다.

그림 7은 uniform pulse train과 staggered pulse train 各各에 對하여 binomial weighting과 optimum weighting을 시켰을 경우에 移動 物体 指示器(MTI)를 通하여 나온 出力 펄스를 weighting 시키는 weighting coefficient W 값이 0.08, 0.3, 1인 경우에 따른 比較를 나타내고 있다. 여기서도 staggered pulse train에 weighting 시킨 경우가 uniform pulse train에 weighting 시킨 경우 보다 그리고 optimum weighting 시킨 경우가 binomial weighting 시킨 경우 보다 信號-對-雜音 比가 더 改善됨을 그림 7로부터 알 수 있다. 그리고 staggered pulse train에 binomial weighting과 optimum weighting을 시킨 경우 weighting coefficient W가 Hamming weighting 즉 $W=0.08$ 일 때가, weighting 되지 않았을 때 즉 $W=1$ 인 경우 보다 信號-對-雜音 比가 훨씬 크게 改善됨을 나타냈고, 또한 uniform pulse train에 binomial weighting과 optimum weighting을 시켰을 경우에 weighting coefficient W가 0.08일 때와 W 값이 1인 경우를 比較하면 側葉 抑制에 기인한 雜音 除去로 인하여 W가 0.08일 경우가 도플러 주파수 各 끝 部分에서 信號-對-雜音 比의 改善를 가져오며 中央 部分도 平坦하여짐을 알 수 있다.

IV. 結果의 檢討

그림 6은 uniform pulse train과 staggered pulse train 各各에 對하여 binomial weighting과 optimum weighting을 시킨 경우 遲延 相殺器의 數가 2個와 3個에 따른 比較로서, weighting 方法에 관계없이 staggered pulse train에 weighting 시킨 것에 對한 信號-對-雜音 比가 uniform pulse train에 weighting 시킨 경우 보다 24~31dB 정도로 크게 改善되었다. 펄스列에 구별없이 optimum weighting 시킨 것에 對한 信號-對-雜音 比가 binomial weighting 시킨 것에 對한 경우보다 5~8dB 만큼 改善됨을 알았다. 그리고 遲延 相殺器의 數가 3個일 경우의 信號-對-雜音 比가 2個일 경우보다 staggered pulse train에 weighting 시켰을 경우는 12~15dB, uniform pulse train에 weighting 시켰을 경우는 5~8dB 만큼씩 더 改善됨을 알 수 있다. 그리고 遲延 相殺器의 數가 3個일 때는 10[KHz]마다 blind speeds가 나타나고, 2個일 때는 5[KHz]마다 blind speeds가 나타나므로 遲延 相殺器 數의 增加에 따라서 펄스列은 더욱 staggering이 되기 때문에 blind speeds를 除去시킬 수 있음을 알 수 있다. 그러나 遲延 相殺器의 數가 3個일 경우가 雜音

注入으로 인하여 波動이 더 크게 發生되는 것을 알 수 있다.

그림 7은 uniform pulse train과 staggered pulse train 各各에 對하여 binomial weighting과 optimum weighting을 시켰을 경우 weighting coefficient W가 0.08, 0.3, 1에 따른 比較를 나타낸 격으로서, weighting 方法에 관계없이 staggered pulse train에 weighting 시킨 것에 對한 信號-對-雜音 比가 uniform pulse train에 weighting 시킨 것 보다 16~31dB 정도로 훨씬 크게 改善되었다. 펄스列에 구별없이 optimum weighting 시킨 것에 對한 信號-對-雜音 比가 binomial weighting 시킨 것 보다 5~8dB 만큼 改善됨을 알 수 있다. 그리고 weighting coefficient W가 0.08일 때가, weighting 되지 않았을 때 즉 $W=1$ 인 경우 보다 staggered pulse train을 weighting 시켰을 경우는 17~20dB 정도 크게 改善됨을 알 수 있고, 또한 uniform pulse train을 weighting 시켰을 경우 $W=0.08$ 일 때가 $W=1$ 인 때보다 側葉 抑制로 인한 雜音 除去 효과 때문에 各 끝 部分에서 2~5dB 정도 改善되고 있으며 中央 部分에서는 lobe가 除去되어 훨씬 平坦하여짐을 알 수 있다.

V. 結 論

Staggered pulse train에서도 uniform pulse train의 경우와 마찬가지로 積分 處理 後에 信號-對-雜音 比(SNR)의 低下가 문제가 되나 이러한 문제점을 改善시키고자 weighting 시킬 경우 weighting 方法間의 比較에서 얻은 結果는 다음과 같다.

- 1) Weighting 方法에 관계없이 staggered pulse train에 weighting 시킨 경우의 信號-對-雜音 比와 uniform pulse train에 weighting 시킨 結果를 比較하면, 遲延 相殺器의 數와 weighting coefficient W에 따라 最大 31dB까지 크게 改善이 되었고,
- 2) 펄스列에 구별없이 optimum weighting 시킨 경우의 信號-對-雜音 比가 binomial weighting 시킨 것에 비해, 遲延 相殺器의 數와 weighting coefficient W에 따라 5~8dB 만큼씩 改善됨을 얻었고,
- 3) 遲延 相殺器의 數가 3個일 경우의 信號-對-雜音 比가 2個일 경우보다, 두 weighting 方法에서 staggered pulse train에 weighting 시켰을 경우는 12~15dB만큼, uniform pulse train에 對해서는 5~8dB만큼 더 改善이 되었으며, blind speeds도 除去시킬 수 있었고,
- 4) Weighting coefficient W가 0.08일 때의 信號-對-雜音 比가 W가 1일 경우보다, 두 weighting 方法

에서 staggered pulse train에 weighting 시켰을 경우에는 17~20dB 정도 크게 改善되었으며, uniform pulse train에 對해서는 $W=0.08$ 일 때 훨씬 平탄한 特性을 얻을 수 있었다.

參 考 文 獻

- [1] B. Müller, "MTI loss with coherent integration of weighted pulses," *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-17, no. 4, pp. 549-552, July 1981.
- [2] F.F. Kretschmer, *MTI Weightings*. IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, pp. 153-155, Jan. 1974.
- [3] T. Murakami and R.S. Johnson, "Clutter suppression by use of weighted pulse trains," *RCA Review*, vol. 32, pp. 402-428, Sep. 1971.
- [4] A.I. Zverev, "Digital MTI radar filters," *IEEE Trans. Audio and Electroacoustics*, vol. AU-16, no. 3, pp. 422-432, Sep. 1968.
- [5] C.E. Cook and M. Bernfeld, *Radar Signals*. Academic Press, New York, 1967.
- [6] D.C. Schleher, *MTI Radar*. Artech House, 1978.
- [7] M.I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*. Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1980.
- [8] F.E. Nathanson, *Radar Design Principles*. Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1969.
- [9] M.I. Skolnik, *Radar Handbook*. Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1970.
- [10] R.S. Berkowitz, *Modern Radar*. Wiley, New York, 1965.
- [11] 高城 躋 外 2 人, "一定한 펄스列을 使用하는 DMTI 시스템에서 weighting 方法에 따른 S/N 比 改善 特性에 關한 比較", 電子工學會誌, 第22卷, 第1號, pp. 41~45, 1月 1985年.