演習課題 (1/4) 解答例 (1/2)

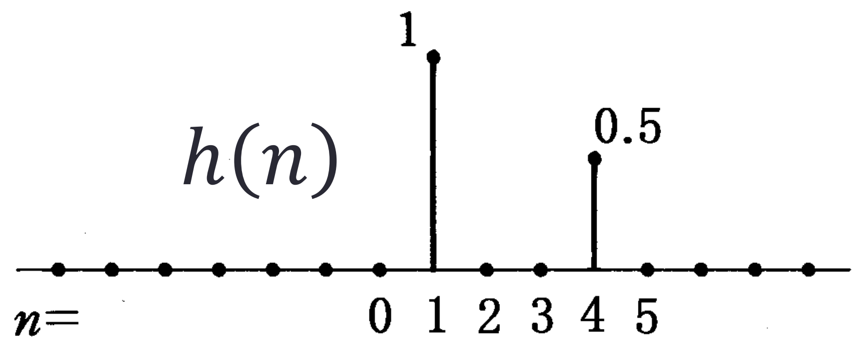
- ある部屋でインパルス応答を計測した結果、下記$h(n)$ が得られた。このインパルス応答をもとに、部屋の解析を行いたい。ただしサンプリング周波数を8000 Hz、音速を340 m/sとする。
  - 1. 信号源 (インパルス発生源) と観測点の距離は?

    音は直接音が一番最初に到達するから、
    直接音の到来時間を計算すればよい。

    距離 = 速さ × 時間より、

$$340 \times \frac{1}{8000} = 0.0425\ \mathrm{m}$$

Ans.:　0.0425 m



演習課題 (1/4) 解答例 (2/2)

- ある部屋でインパルス応答を計測した結果、下記$h(n)$ が得られた。このインパルス応答をもとに、部屋の解析を行いたい。ただしサンプリング周波数を8000 Hz、音速を340 m/sとする。
- 2. 反射音は直接音と比べて、どのくらい遅れて、どのくらいのパワー (エネルギー) で到着するか?
  - ①直接音到着から反射音到着までの時間を計算する

$$\left((4-1)\times\frac{1}{8000}\right)=3\times\frac{1}{8}\times 10^{-3}=0.375\times 10^{-3}=0.375\ \mathrm{ms}$$

Ans.　0.375 ms (= 0.000375 s)

  - ②直接音と反射音のパワー差を計算する

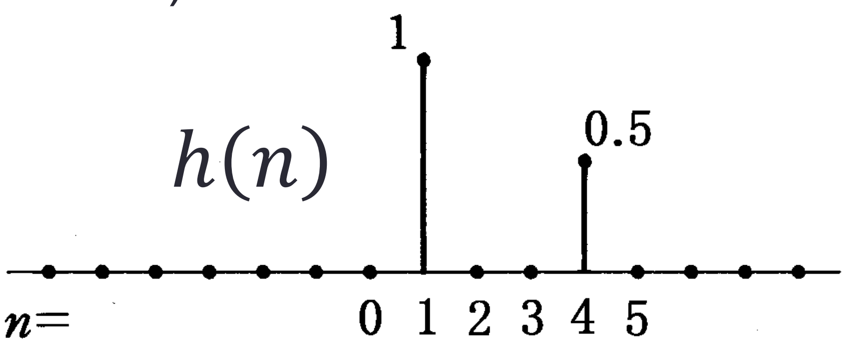
直接音の振幅値1、反射音の振幅値0.5

パワー (エネルギー) は振幅の2乗 (物理のとおり) より、パワーの比は

直接音のパワー：反射音のパワー

$$=1^2:0.5^2=1:0.25$$

Ans. 直接音の1/4のパワーで到着



演習課題 (2/4) 解答例 (1/3)

- 下記の3つの系に関して、身の回りでどのようなものがあるか、その理由も含めて答えよ。
  - 1. 線形時不変系

    天秤。なぜなら、重さが2倍になると天秤の示す値も2倍になり、計量物の重さを複数測れば、重さの合計値と天秤の示す値が一致する。よって、重ね合わせの原理を満たし、線形。また、翌日に重さを測っても、同じ重さであれば天秤の値は同じなので、時不変である。

    その他、スピーカなども該当する (ただし、定格電力以下での利用時)。マイクロホンも線形時不変系 (線形性がほぼ確実に約束される)。

演習課題 (2/4) 解答例 (2/3)

- 下記の3つの系に関して、身の回りでどのようなものがあるか、その理由も含めて答えよ。
  - 2. 線形時変系

部屋の反射特性。なぜなら、たたみ込み和の演習課題で示したように、音の反射はたたみ込み和で表すことができ、重ね合わせの原理を満たすから線形。ただし、人の出入り、入室人数などによっても部屋の特性が変化するため、部屋の反射特性は時変である。

長期間の利用を想定すれば、スピーカ、マイクロホンも該当する (経年劣化、エイジング)。

演習課題 (2/4) 解答例 (3/3)

- 下記の3つの系に関して、身の回りでどのようなものがあるか、その理由も含めて答えよ。
  - 3. 非線形系

車の燃料消費量。なぜなら、速度が2倍になると燃料消費量は2倍以上になる。

その他、リゾートホテルの料金は2倍払っても2倍のサービスになるとは限らない。プロ野球選手の年俸が2倍になっても、成績は2倍にならない。

世の中の大半は非線形系 (低品位なスピーカも非線形系とみなされる場合がある)。

演習課題 (3/4) 解答例 (1/2)

$$y(n) = x(n) - x(n-1)$$

- 1. この式の両辺のz変換を求めよ

z変換の性質③を使うと、

$$\boxed{\begin{aligned} Y(z) &= X(z) - z^{-1}X(z) \\ &= (1 - z^{-1})X(z) \end{aligned}}$$

- 2. システムの伝達関数を求めよ

$$\boxed{\begin{aligned} H(z) &= Y(z)/X(z) \\ &= 1 - z^{-1} \end{aligned}}$$

演習課題 (3/4)　解答例 (2/2)

$$y(n) = x(n) - x(n-1)$$

- 3. システムの周波数特性を求めよ。
  - z変換の性質④より、$z = \exp(j2\pi f \Delta t)$とおくと

$$\boxed{\begin{aligned} H\left(e^{j2\pi f \Delta t}\right) &= 1 - e^{-j2\pi f \Delta t} \\ &= \underbrace{\{1 - \cos(2\pi f \Delta t)\}}_{\text{実部}} + j\,\underbrace{\sin(2\pi f \Delta t)}_{\text{虚部}} \end{aligned}}$$

- 4. システムの振幅特性と位相特性を求めよ。

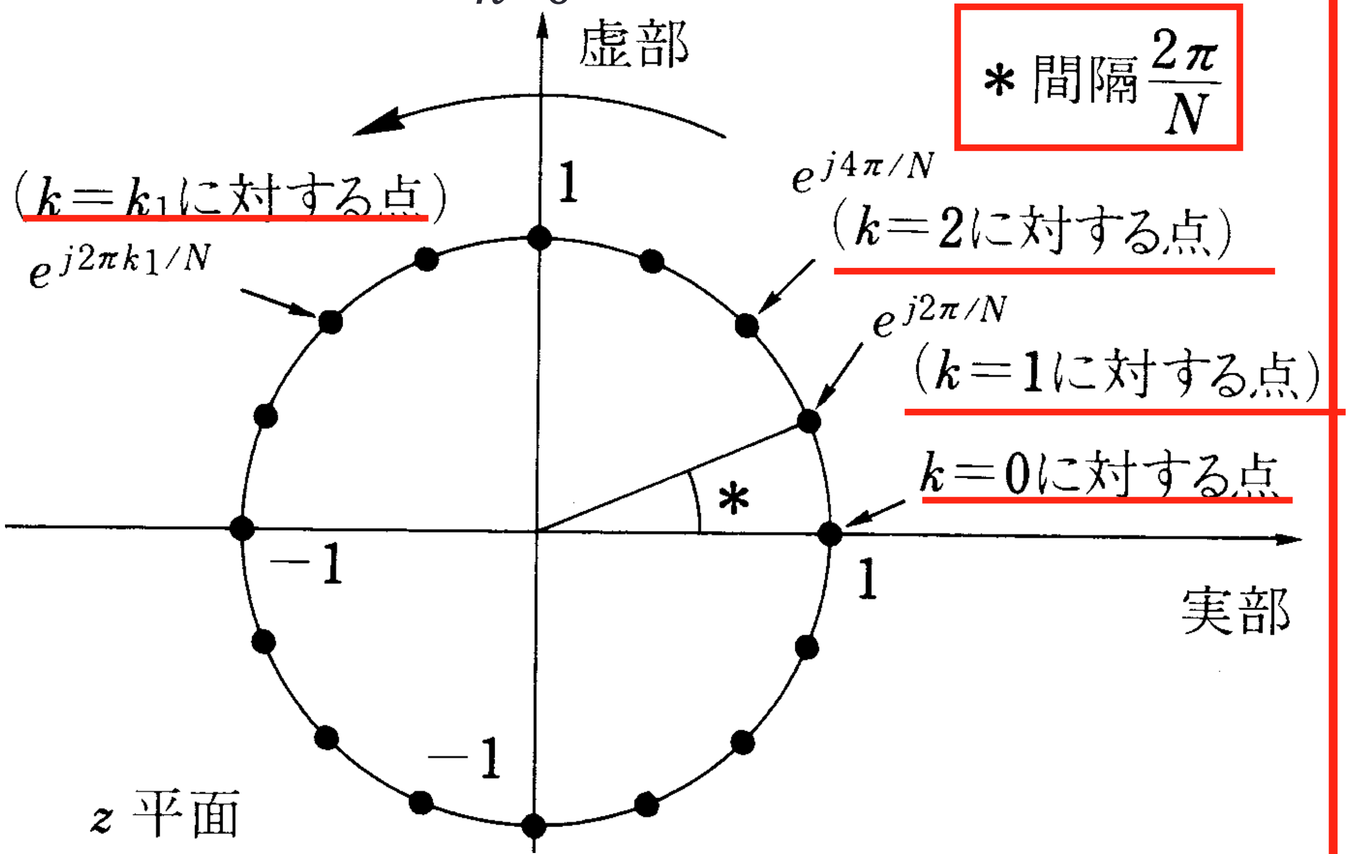
◆振幅特性：$\boxed{\left|H\left(e^{j2\pi f \Delta t}\right)\right| = 2|\sin(\pi f \Delta t)|}$

◆位相特性：$\boxed{\arg\left\{H\left(e^{j2\pi f \Delta t}\right)\right\} = \tan^{-1}\left\{\frac{\sin(2\pi f \Delta t)}{1 - \cos(2\pi f \Delta t)}\right\}}$

演習課題 (4/4) 解答例

kの変化に対する$X(k)$のz平面上での軌跡は？

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)\, e^{-j2\pi nk/N}$$



$z = e^{j2\pi nk/N}$とすると

左の図のようになる。

$k = 0$のとき

$z = \exp(0) = 1$

$k = 1$のとき

$z = \exp(j2\pi/N)$

$k = k_1$ のとき

$z = \exp(j2\pi k_1/N)$

Ans: z平面の単位円上で間隔 $2\pi/N$ の点が軌跡となる