

令和 8 年度大学院春入学 8 月試験

令和 7 年度大学院秋入学 8 月試験

未来ロボティクス専攻

論 述 試 験

【60 分】

[注意事項]

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開かないでください。
2. この問題冊子には論述試験の問題が記載されています。万一、落丁・乱丁があった場合は、手をあげて申し出てください。
3. 黒鉛筆、シャープペンシル、消しゴム、鉛筆けずり、時計、眼鏡、受験票以外は机上に置かないでください。
4. 監督者の指示に従い、解答用紙に受験番号・氏名を記入してください。
5. 試験終了の合図で解答を終了し、監督者の指示があるまで席を立たないでください。また問題冊子は持ち帰ってください。
6. 解答用紙は最大 2 枚まで提出できます（1 枚でも構いません）。2 枚提出する場合は解答用紙の右上に 1/2、2/2 の番号を記入してください。

以下の A・B・C から 1 題を選択し、解答せよ。

- A. 図 A-1 のように水平な節 A およびそれと θ の角度をなす斜めの節 B によって壁から S だけ離れた位置に質量 m の物体 M を保持する構造物を考える。壁と節の接合点 a, b および節どうしの接合点 c はいずれも回転自在のジョイントとする。また物体 M は接合点 c の位置にあるが大きさは無視する。2 つの節は縦弾性率 E 、許容引張応力 $\sigma_{\max}$ の材料で作る。次の各問に答えよ。

ただし、重力加速度を g とし、物体 M 以外の質量、および接合部の大きさは無視する。また、下記の知見を用いてよい。

直径 d の円形断面はりの断面 2 次モーメント I :

$$I = \frac{\pi d^4}{64}.$$

両端回転支持はりについてのオイラーの座屈の公式 :

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (P_c: \text{座屈荷重}, E: \text{ヤング率}, L: \text{はりの長さ}).$$

- (1) 各節にかかる力を説明し、適切な断面形状と寸法について考察せよ。ただし、各節の断面の外側形状は円で、最大直径 $D_{\max}$ ($\ll S$) が定められ、長さ方向に一様であるとする。使用する材料の体積は小さいほうが好ましいと考えよ。
- (2) 角度 θ について各節の断面寸法との関係を示し、適切な θ について説明せよ。
- (3) 各節の断面が長さ方向に一様でなくても良いとした場合には、どのような形状が適切か考察せよ。

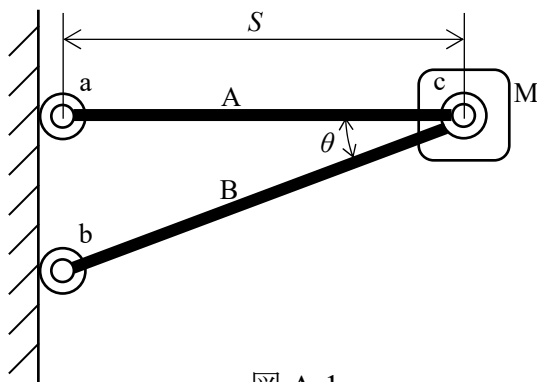


図 A-1

B. ロボットのセンサからのアナログ信号に対し特定の周波数帯域を通過させるアクティブフィルタ回路を設計したい.

- (1) 減衰させたくない周波数帯域として, 「高周波」, 「低周波」, 「特定の周波数域」の中の一つを選択し, その回路を構成するために必要なデバイス部品の種類と必要な個数を列挙し, 回路図を描け. 回路図の下に回路名 (例: ○○通過フィルタ (英語名やカタカナ表記でも良い)) を記載すること.
- (2) 減衰させたくない周波数域の増幅率とカットオフ周波数を定義した上で, デバイス部品の値を決定せよ. また, カットオフ周波数を基準とした各周波数帯域における増幅特性を導出し, その特性を説明せよ.
- (3) これらの特性を議論するために必要な仮定を記述し, その仮定が必要となる理由を説明せよ.
- (4) 設計したアクティブフィルタ回路のボード線図 (ゲイン線図と位相線図) を示せ.
- (5) 多重帰還型アクティブフィルタ回路の特性について説明せよ.

- C. 0001111110000000 のように、0 と 1 だけで構成される文字列を「0 が 3 個、1 が 6 個、0 が 7 個」のように変換することを考える。以下の問題に答えよ。

- (1) 次のコードは、標準入力から文字列を受け取って、そのまま標準出力に文字を出す C 言語のプログラムである。

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3
4 int main() {
5     char ch;
6     while ( (ch = getchar() ) != EOF) {
7         putchar(ch);
8     }
9
10    exit(0);
11 }
```

このプログラムについて、0 と 1 のみで構成される文字列を読み込み、次のように出力するようにプログラムを変更せよ。文字列の最後には改行文字が付加され、その次を読もうとすると `getchar` が `EOF` を返すこととする。文字列が 1 から始まる場合、最初に「0:0」という行を出力することとする。

```
0:a    //a,b,c,d には 0 あるいは 1 の連続した個数が入る。
1:b
0:c
1:d
...
```

答案用紙にはコード全体を記述すること。C 言語あるいは Python, C++いずれかで解答せよ。

- (2) このような変換はどのような場面で使われるか、理由とともに答えよ。実際に利用されている事例が好ましいが、自身が考えた応用例でもよい。
- (3) 入力に対し、0 と 1 の個数を交互に 8bit ずつ使ってファイルに記録していくことを考える。たとえば次の例は、000000000011110000 (0 が 10 個、1 が 4 個、0 が 4 個) を 24bit の 2 進数で記録した例である。

```
00001010 00000100 00000100
```

しかしこの方法では、連続する 0 や 1 の個数が 255 個を超えると記録できなくなる。これを解決する方法を提案せよ。あらゆる入力を短くする方法はないので、提案方法で記録が短くなる場合、冗長になる場合について議論せよ。

令和 8 年度大学院春入学 8 月試験

令和 7 年度大学院秋入学 8 月試験

未来ロボティクス専攻 論述試験 解答例

A. 解答例

(1) 節 A, B とともに両端が回転自在なので, 曲げモーメントはかからず, 引張圧縮力のみが加わる. 節 A には引張力がかかる. $T_A (>0)$ とする.

節 B には圧縮力がかかる. $T_B (>0)$ とする.

c 点における力の釣り合い条件は,

$$\text{水平方向は, } T_A - T_B \cos \theta = 0$$

$$\text{鉛直方向は, } T_B \sin \theta - mg = 0$$

これより, $T_B = mg / \sin \theta$, $T_A = T_B \cos \theta = mg / \tan \theta$ となる.

節 A は引張による応力が許容引張応力 $\sigma_{\max}$ 以下であればよい. すなわち T_A を断面積で除したものが $\sigma_{\max}$ 以下であればよい. 応力値は断面積のみに依存し形状によらない. 外側形状が円であるので, 中実の丸棒, あるいは最大径が $D_{\max}$ 以下のパイプでも良い. 丸棒で外径を d_A とすると, 題意のように材料の体積を最小にするため,

$$\sigma_{\max} = \frac{T_A}{\text{断面積}} = \frac{\frac{mg}{\tan \theta}}{\frac{\pi}{4} d_A^2} = \frac{4mg}{\pi d_A^2} \quad \text{より,}$$

$$d_A = 2 \sqrt{\frac{mg}{\sigma_{\max} \cdot \pi \cdot \tan \theta}} \quad \text{となる.}$$

節 B は圧縮力がかかるので座屈の可能性がある. 体積ができるだけ小さく, すなわち断面積が小さくて座屈しにくくするためには, 断面 2 次モーメントが大きな形状が有利であり, 最大の外径 $D_{\max}$ のパイプが良い. 内径を d_{inB} とすると

$$T_B = P_c \quad \text{より,}$$

$$\frac{mg}{\sin \theta} = \frac{\pi^2 E \frac{\pi}{64} (D_{max}^4 - d_{inB}^4)}{\left(\frac{S}{\cos \vartheta}\right)^2} \quad \text{となる内径が良い.}$$

これより,

$$d_{inB} = \left(D_{max}^4 - \frac{S^2}{\sin \theta \cos^2 \vartheta} \cdot \frac{64mg}{\pi^3 E} \right)^{\frac{1}{4}} \quad \text{となる.}$$

- (2) (1)と同様に材料の体積が小さいほうが好ましいと考えることにする. θ の範囲は 0° から 90° までで考える. 節 B は θ が小さいと荷重が増え, パイプにする場合, 座屈しないようにするため, 必要な肉厚が大きくなり断面積が増加する. 逆に θ が大きいと長くなって座屈しやすく, パイプの肉厚を大きくする必要があり, これも断面積が増加する. そこで節 B の断面積が最小となるように, (1)で求めたパイプ内径 d_{inB} が最大となる θ が好ましいと考える.

d_{inB} の式で θ に関係するのは $\frac{1}{\sin \vartheta \cos^2 \theta}$ の部分のみであるので, この分母を θ で微分してゼロとなるときに d_{inB} が最大になると考える.

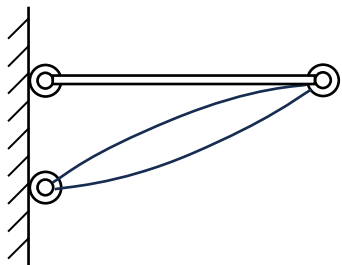
$$\begin{aligned} \frac{d(\sin \vartheta \cos^2 \theta)}{d\theta} &= \cos \theta \cdot \cos^2 \theta - \sin \theta \cdot 2 \cos \vartheta \cdot \sin \vartheta = \cos \theta (\cos^2 \theta - 2 \sin^2 \theta) \\ &= 0 \end{aligned}$$

になるのは,

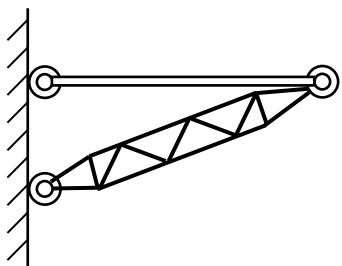
$\cos \theta = \sqrt{2} \sin \theta$ すなわち, $\tan \theta = \frac{1}{\sqrt{2}}$ のときに節 B の内径 d_{inB} が最大になり, 最も薄肉のパイプとなる. なお, この角度は材料の物性や荷重条件に依存しない.

一方, 節 B の長さは $S/\cos \theta$ であり, θ が小さいほうが短いため, 節 B の体積が最小になる θ は上記よりも小さい方向に寄る傾向があると考ええる. また, 節 A については θ が大きいほうが荷重が小さく, 断面積を小さくできるため, 節 A と B の合計体積が最小となる θ は, 節 B のみが最小体積となる θ より大きい方向に寄る傾向があると考ええる. ただし, これらの傾向の大きさは材料の物性と荷重条件に依存するので, ここでは一概に言えない.

- (3) 節 A の応力は、断面積のみに依存するので長さ方向には一様でよい。節 B は座屈が発生するときに曲げモーメントが大きくなる中央部の断面二次モーメントが大きいほうがよく、逆に両端付近は薄肉あるいは小径でもよい。このため、たとえば図のような両端部の細いパイプにするとよい。



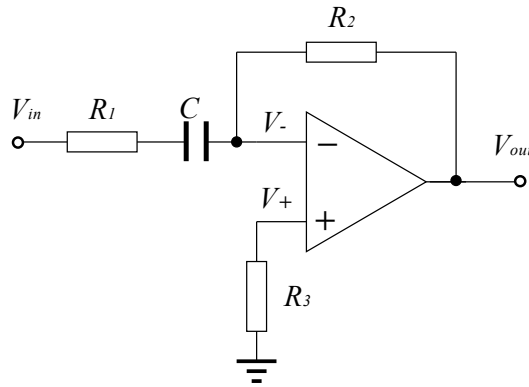
さらに、断面の外形が円以外でもよい場合には、図のようなトラス構造にすることも小体積で座屈しにくくするのに有効と考える。



B. 解答例

- (1) 本解答は，ロボットのセンサからのアナログ信号に対し，**高周波帯域を減衰させたくない**アクティブフィルタ回路を設計するものとする．

回路を構成するには，オペアンプ 1 個，コンデンサ 1 個，抵抗 3 個のデバイス部品が必要である．構成したアクティブフィルタ回路は，以下となる：



ハイパスフィルタ回路

※ R3 を短絡とした回答も正答と認める．

※ R1 と C の順序が逆も正答と認める．

- (2) 減衰させたくない高周波域の増幅率を A_0 とし，カットオフ角周波数を ω_0 と定義する．上記回路において， $A_0 = R_2/R_1$ ， $\omega_0 = 1/R_1C$ となるため， R_1 の値（例：10K Ω ）を決定した場合， $R_2 = A_0R_1$ ， $C = 1/\omega_0R_1$ を用いて計算できる．
上記回路の増幅率は，以下の式に導出できる．

$$A = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + \frac{\omega_0}{j\omega}}$$

カット周波数を基準にして，下記三つの周波数帯域が定義でき，各帯域の増幅特性は以下となる：

- a) $\omega \ll \omega_0$

信号の周波数の減少につれて，増幅率が下がる特性を持つ．

$$A \approx -\frac{R_2}{R_1} \frac{\omega}{\omega_0} j$$

- b) $\omega = \omega_0$

カットオフ周波数における出力信号の振幅は，入力信号の振幅の $1/\sqrt{2}$ 倍となる．

$$A \approx -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 - j}$$

- c) $\omega \gg \omega_0$

信号の周波数に依存せず，増幅率が一定となる特性を持つ．

$$A \approx -R_2/R_1$$

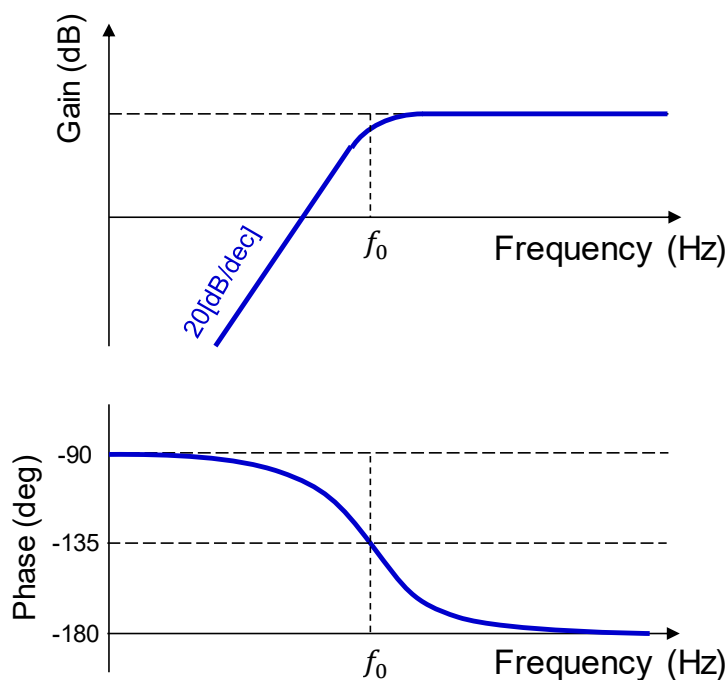
(3) これらの特性を議論するために必要な仮定は、オペアンプが理想的な性質を持つこと、すなわち下記三つの特性を有することである。

- a) 無限大の開ループゲインを持つ
- b) オペアンプの二つの入力端子は、無限大の入力インピーダンスを持つ
- c) オペアンプの出力インピーダンスは、限りなく小さいとされる

これらの仮定が必要となる理由は、回路の動作を簡潔に解析するためである。具体的に三つの特性を有することに関して、

- a) 無限大の開ループゲインの仮定は、仮想短絡の状況で入力端子間の電圧差はほぼゼロとみなせることで、ノードの電圧関係が単純化されるため
- b) 無限大の入力インピーダンスの仮定は、接続している抵抗やコンデンサからオペアンプの入力端子に流れる電流を無視でき、回路の電流や電圧の解析が簡略化できるため
- c) ゼロの出力インピーダンスの仮定は、出力端子からどれだけの電流が引き出されても、出力電圧が変化せず、理想的な電圧源として扱えることができ、回路全体の電圧分配の解析が容易になるため

(4) 上記アクティブフィルタの回路のボード線図は以下となる。



ここで、 $f_0 = \omega_0/2\pi$ とする。

- (5) 多重帰還型アクティブフィルタ回路は，上記のような単一帰還型フィルタ回路の 1 次伝達関数に対し，2 次（またはそれ以上）の伝達関数を実現できる．適切に設計することで，より急峻なフィルタ特性を得ることが可能である．

C. 解答例

(1) C 言語で記述すると、たとえば以下のとおりである。

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3
4 int main() {
5     char ch;
6     char current = '0';
7     int counter = 0;
8     while ( (ch = getchar() ) != EOF) {
9         if(ch != current) {
10             printf("%c:%d\\n", current, counter);
11             current = current == '0' ? '1':'0';
12             counter = 0;
13         }
14         counter++;
15     }
16
17     exit(0);
18 }
```

(2) この変換はランレングス圧縮であり、同じデータが連続しやすい白黒画像のデータ圧縮に用いられる。実用例としてはファクシミリのデータ転送が挙げられる。

(3) 個数を記録する 2 進数の長さ（以後「ビット長」と表現）を 8bit に限定する場合、0 あるいは 1 が 256 個以上連続したら、

i) 255 個目で 11111111 を出力

ii) 00000000 を出力

iii) カウンタを 0 にリセットして 256 個目を 1 個目としてカウントを再開

するという手続きがひとつ考えられる。ii)の「00000000」の意味は、256 個以上続くのが 0 であれば「1 が 0 個」、1 であれば「0 が 0 個」である。

上記の方法を圧縮に用いる場合、たとえばビット長を 16bit とする場合に比べて、大きな圧縮率は期待できない。一方、ビット長を 16bit やそれ以上の長さ ($n[\text{bit}]$ とする) にした場合、0 と 1 が細かく ($n[\text{bit}]$ より短く) 切り替わると切り替えのたびに $n[\text{bit}]$ ずつデータが追加されてデータ量が増える。したがってビット長を長くする方法と比較すると、0 と 1 が 256 個以上続かない場合がほとんどであれば、提案した方法のほうが記録を短くできる。

ビット長を 8bit に限定しない場合は、上記のようにビット長を長くする方法が考えられる。この方法の長所、短所については上で議論した通りである。また、記録するデータの冒頭の所定の位置にヘッダを起し、ビット長を可変にして対応する方法が考えられる。この方法は、ヘッダの大きさが無視できるほど入力に長さがある場合、有効である。