

Título do Trabalho

Um subtítulo opcional opcional opcional opcional
opcional opcional opcional opcional

PME3481: Controle e Aplicações

Integrante # 1

Integrante # 2

Integrante # 3

Integrante # 4



Título do Trabalho

Um subtítulo opcional opcional opcional
opcional opcional opcional opcional opcional

Nome	Número USP
Integrante #1	12345678
Integrante #2	12345678
Integrante #3	12345678
Integrante #4	12345678

Disciplina: Controle e Aplicações (PME3481)
Docentes: Prof. Dr. Flavio Celso Trigo
Prof. Dr. Renato Maia Matarazzo Orsino



Resumo

Um resumo em até 250 palavras.

Sumário

Resumo	i
Lista de símbolos	iii
1 Introdução	1
1.1 Contextualização e motivação	1
1.2 Objetivos	1
2 Modelagem	2
2.1 Modelo físico	2
2.2 Sensores e atuadores	3
2.3 Variáveis de estado, entradas e saídas	3
2.4 Modelo matemático	3
2.5 Identificação de pontos de equilíbrio	4
2.6 Modelo matemático linearizado	4
2.7 Funções de transferência, polos e zeros	4
2.8 Testes de controlabilidade e observabilidade	4
3 Projeto do reguladores	5
3.1 Regulador linear-quadrático (LQR)	5
3.2 Regulador por alocação de polos	5
4 Projeto do observador de estados	6
4.1 Observador de estados	6
4.2 Simulações do sistema com regulador e observador	6
5 Acompanhamento de referências e rejeição de perturbações	7
5.1 Síntese de pré-alimentação	7
5.2 Simulações em malha fechada	7
6 Conclusão	8
Referências	9
A Repositórios de códigos	10
B Outro(s) apêndice(s) opcional(is)	11
B.1 Primeira seção do apêndice	11
B.2 Segunda seção do apêndice	11

Lista de símbolos

Símbolo	Descrição	Unidade
g	Aceleração da gravidade	$[m/s^2]$
...		
ρ	Densidade	$[kg/m^3]$
...		

1

Introdução

O capítulo introdutório deve ter no máximo **2 páginas** e deve fornecer uma contextualização breve do problema a ser tratado, com algumas referências principais, além de listar os objetivos do trabalho. O capítulo pode ser dividido em seções, de acordo com a preferência do grupo.

1.1. Contextualização e motivação

De acordo com [1]...

1.2. Objetivos

O presente trabalho pretende...

Tabela 2.1: Tabela com os parâmetros do modelo, com valores obtidos nas referências [2, 3]

Parâmetro	Símbolo	Valor
wheel base	w	1.02 m
trail	c	0.08 m
steer axis tilt ($\pi/2$ – head angle)	λ	$\pi/10$ rad
gravity	g	9.81 N/kg
<i>Rear wheel R</i>		
radius	r_R	0.3 m
mass	m_R	2 kg
mass moments of inertia	$(I_{Rxx}^\circ, I_{Ryy}^\circ)$	(0.0603, 0.12) kg m ²
<i>Rear body and frame assembly B</i>		
position centre of mass	(x_B°, z_B°)	(0.3, -0.9) m
mass	m_B	85 kg
mass moments of inertia	$\begin{bmatrix} I_{Bxx}^\circ & 0 & I_{Bxz}^\circ \\ 0 & I_{Byy}^\circ & 0 \\ I_{Bxz}^\circ & 0 & I_{Bzz}^\circ \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 9.2 & 0 & 2.4 \\ 0 & 11 & 0 \\ 2.4 & 0 & 2.8 \end{bmatrix}$ kg m ²

2.2. Sensores e atuadores

Listar quais dispositivos serão utilizados na atuação e no sensoriamento da planta, descrevendo a natureza destes dispositivos, suas limitações e algumas de suas propriedades físicas principais (consultem catálogos de fabricantes e apresentem os parâmetros relevantes para o projeto de controle em tabelas). Por exemplo, se o papel do atuador é aplicar um esforço, é relevante informar os valores máximos que este esforço pode atingir.

2.3. Variáveis de estado, entradas e saídas

- Descrever o vetor \mathbf{x}_n de variáveis de estado a ser adotado na modelagem matemática.
- Identificar as entradas, distinguindo:
 - o vetor \mathbf{u}_n de entradas de controle (entradas vindas dos atuadores);
 - o vetor \mathbf{w}_n de entradas de perturbação.
- Identificar o vetor saídas \mathbf{y}_n do modelo (variáveis efetivamente medidas pelos sensores).

2.4. Modelo matemático

Detalhar a dedução das equações de movimento, mostrando cada passo adotado a menos de passagens puramente algébricas. O texto, no entanto, deve detalhar se as passagens algébricas foram feitas pelo próprio grupo ou se houve o uso de alguma ferramenta de computação simbólica. No último caso, explicitar qual(is) pacote(s) de software (versão) foi/foram usados.

Ao final da seção, as equações de movimento devem ser representadas na forma geral

de espaço de estados:

$$\frac{dx_n}{dt} = f(x_n, u_n, w_n) \quad (2.1)$$

$$y_n = h(x_n, u_n, w_n) \quad (2.2)$$

2.5. Identificação de pontos de equilíbrio

Nesta seção devem ser identificados os pontos de equilíbrio das equações de movimento do sistema. Observem que pontos de equilíbrio podem corresponder a equilíbrios estáticos de fato ou a eventuais soluções em regime permanente do sistema.

Selecione um dos pontos (\bar{x}_n) para a linearização a ser apresentada na seção subsequente. Justifique a escolha e interprete fisicamente o ponto de equilíbrio escolhido.

2.6. Modelo matemático linearizado

Obter o modelo matemático linearizado em torno do ponto de equilíbrio selecionado no item anterior, apresentando-o na forma de espaço de estados:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu + Ew \quad (2.3)$$

$$y = Cx + Du \quad (2.4)$$

Note que, para obter o modelo linearizado é necessário antes aplicar a transformação de translação: $x = x_n - \bar{x}_n$, $u = u_n - \bar{u}_n$ e $y = y_n - \bar{y}_n$. Assim, garante-se que, para o sistema linearizado, o ponto de equilíbrio corresponde a $x = 0$.

2.7. Funções de transferência, polos e zeros

Com base nas entradas e saídas identificadas, mostrar as funções de transferência e tabelar os polos e zeros do modelo linearizado. Discutir a estabilidade do equilíbrio em torno do qual o modelo foi linearizado.

2.8. Testes de controlabilidade e observabilidade

Realizar os testes de controlabilidade e observabilidade, mostrando as matrizes obtidas nos respectivos testes algébricos e seus respectivos postos.

3

Projeto do reguladores

3.1. Regulador linear-quadrático (LQR)

- Apresentar as matrizes de ponderação Q e R adotadas, justificando sua escolha.
- Mostrar a expressão da matriz K obtida.
- Mostrar uma tabela e um gráfico comparando as posições dos polos do sistema em malha aberta e em malha fechada.
- Propor um cenário de simulação teste com resposta a uma perturbação do tipo impulso ou resposta livre a condições iniciais para o sistema em malha fechada admitindo realimentação de estados completa. Mostrar séries temporais das variáveis de estado mais relevantes e das entradas de controle. Verificar se os valores obtidos para as entradas de controle são consistentes com os atuadores selecionados.

3.2. Regulador por alocação de polos

- A partir de uma análise crítica dos resultados da seção anterior, propor uma nova tabela com as posições desejadas para os polos em malha fechada.
- Utilizar o algoritmo de alocação de polos para obter a expressão da matriz K correspondente a esta nova tabela.
- Repetir o cenário de simulação proposto na seção anterior para o novo projeto de regulador, comparando os resultados e avaliando se os objetivos propostos na escolha da nova tabela de polos em MF foram atingidos.

4

Projeto do observador de estados

4.1. Observador de estados

- Escolher uma técnica para a síntese do observador de estados. Justificar a escolha e aplicar a técnica, mostrando o modelo, em forma de espaço de estados do observador obtido.
- Mostrar uma tabela e um gráfico comparando as posições dos polos do sistema em malha fechada e os novos polos introduzidos pelo observador.
- Propor um cenário de simulação teste para mostrar que, partindo de condições iniciais distintas da planta, o estado estimado pelo observador converge para o estado da planta.

4.2. Simulações do sistema com regulador e observador

Montar um ou mais cenários fisicamente realistas de simulação em malha fechada que utilizem o regulador de “melhor desempenho” dentre os sintetizados pelo grupo, realimentado pela estimativa do estado do sistema fornecida pelo observador. Analisar os resultados da simulação à luz do “Princípio da Separação”.

5

Acompanhamento de referências e rejeição de perturbações

5.1. Síntese de pré-alimentação

Sintetizar um bloco de pré-alimentação para o controlador utilizando uma das técnicas passadas no último módulo do curso.

5.2. Simulações em malha fechada

Propor cenários de simulação fisicamente realistas que permitam avaliar o desempenho do sistema em malha fechada completo, incluindo todos os elementos projetados (controlador com pré-alimentação e com realimentação pela estimativa do estado fornecida pelo observador). Analisar nestes cenários a capacidade do sistema de acompanhar sinais de referência e de rejeitar perturbações.

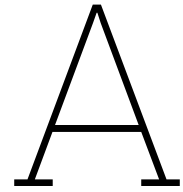
6

Conclusão

Apresentar, **em no máximo 1 página**, uma lista de tópicos com as considerações finais. Estes tópicos devem fornecer um resumo e uma análise qualitativa dos principais resultados obtidos no trabalho e uma projeção do potencial de utilização do modelo para trabalhos futuros.

Referências

- [1] I. Surname, I. Surname e I. Surname. “The Title of the Article”. Em: *The Title of the Journal* 1.2 (2000), pp. 123–456.
- [2] I. Surname, I. Surname e I. Surname. *The Title of the Book*. 8th ed. City, State or Country: Publisher, 2000.
- [3] Website Name <OR> I. Surname, I. Surname e I. Surname. *Title of the Website*. 2000. URL: <https://example.com> (acesso em 24/12/2020).



Repositórios de códigos

Inserir links para repositórios com os códigos fonte utilizados na modelagem e simulação. Recomenda-se o uso das plataformas GitHub ou Google Drive. Os arquivos podem ficar públicos nestes repositórios ou, ao menos, o leitor do relatório deve ter seu acesso liberado a partir do link compartilhado.

- Exemplo de link para repositório GitHub

B

Outro(s) apêndice(s) opcional(is)

Elementos de alguma relevância para a construção de alguma seção do texto, em particular na dedução do modelo matemático, cuja presença no corpo do texto principal quebraria a fluidez da leitura do relatório, podem ser colocados em capítulos de apêndice.

Os capítulos de apêndice também podem ser subdivididos em seções, de acordo com a preferência do grupo.

B.1. Primeira seção do apêndice

Texto...

B.2. Segunda seção do apêndice

Texto...