



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS

PROJETO INTEGRADOR - DAS 5104

Concepção Geral do Sistema

Acadêmicos:

Daniel Regner

Igor Althoff Vidal

Ivan Doria

Matrícula:

15204839

13104313

13204824

Sumário

1	Introdução	2
2	Desenvolvimento	3
2.1	Identificação de funcionalidades	3
2.2	Diagrama em árvore	3
2.3	Diagrama sequencial	5
2.4	Modelo conceitual	6
3	Movimentação	8
3.1	Cinemática Direta	8
3.2	Máquina de Estados	10
4	Conclusão	12

1 Introdução

A disciplina Projeto Integrador visa consolidar os conhecimentos técnicos e teóricos aprendidos durante a graduação, em uma forma de trabalho prático que se assemelha à um projeto real de engenharia.

Uma das etapas de um projeto de engenharia é o desenvolvimento do modelo conceitual. Este documento visa esclarecer aquilo que foi apresentado no primeiro relatório. É a primeira etapa no processo de sair da concepção da ideia de um cliente e chegar ao nível de um produto. Ou seja, terá representações abstratas do sistema a ser desenvolvido.

Este documento apresenta as funcionalidades e sub-funcionalidades do projeto desenvolvido, representadas através de um diagrama em árvore, além de apresentar o diagrama de sequência do uso do sistema e o modelo conceitual do mesmo.

2 Desenvolvimento

2.1 Identificação de funcionalidades

A nossa aplicação requer que o robô possa se movimentar através da passagem de uma referência pelo usuário ou que o robô tenha autonomia para decidir seus movimentos tendo em vista respeitar uma regra de segurança informada também pelo usuário. Para que isso seja possível, é necessário que o robô seja capaz de se movimentar e de reconhecer o ambiente ao seu redor. Além disso, é necessário que exista uma interface para permitir a comunicação e a operação remota do protótipo.

A partir disso, podemos extrair três funcionalidades principais para o sistema. Primeiramente, temos a movimentação do robô, seguida pelo reconhecimento de ambientes e por último a interface de comunicação.

2.2 Diagrama em árvore

Para elaboração do diagrama em árvore, é necessário elicitar as sub-funcionalidades do sistema. Começando pela função de Movimentação, temos que o robô irá precisar desenvolver os cálculos de cinemática inversa para posicionar corretamente cada uma de suas juntas, de modo a desenvolver seu movimento. Também é necessário que o mesmo execute uma máquina de estados, para correta coordenação do movimento das pernas.

Para a funcionalidade de reconhecimento de ambientes, é necessário que o sistema realize a leitura dos sensores ultrassônicos acoplados a ele. Entretanto, para a utilização destes dados, também é necessário realizar os cálculos para obter as distâncias a partir das leituras de cada sensor.

A interface do sistema irá possibilitar a seleção de um dos modos de operação do robô, entre automático e manual, e também irá possibilitar a passagem de referência. Além disso, a interface será responsável por realizar a comunicação entre a lógica de alto-nível, implementada na Raspberry Pi, com a lógica do microcontrolador ESP-32, de baixo nível.

Sendo assim, obtemos a seguinte lista de funcionalidades e sub-funcionalidades:

- *F.1: Movimentação*
 - *S.F.1.1: Cálculo da Cinemática Inversa.*
 - *S.F.1.2: Execução da Máquina de Estados.*
- *F.2: Reconhecimento de Ambientes*

- *S.F.2.1*: Leitura dos Sensores.
- *S.F.2.2*: Cálculo das Distâncias.
- *F.3*: Interface
 - *S.F.3.1*: Passagem de Referências.
 - *S.F.3.2*: Transição entre modos de operação.
 - *S.F.3.3*: Comunicação entre Níveis.

A partir das funcionalidades apresentadas acima, chegamos no diagrama de árvore apresentado na Figura 1.

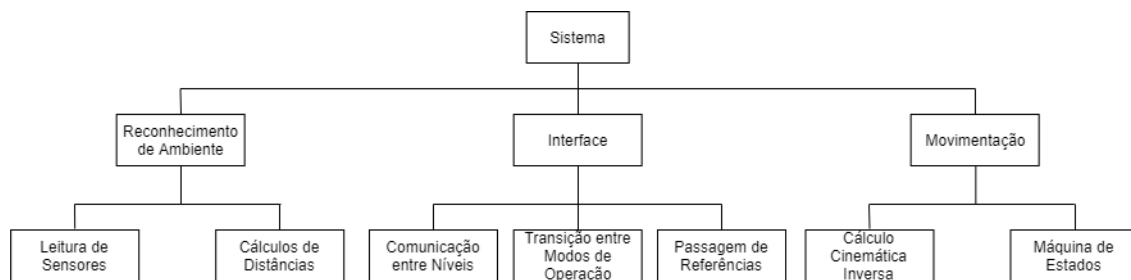


Figura 1: Diagrama em Árvore com a apresentação das funcionalidades e sub-funcionalidades do sistema

2.3 Diagrama sequencial

Através das especificações do sistema, foi desenvolvido o diagrama sequencial descrito na figura 2, representando a sequência de processos (mais especificamente, de mensagens passadas entre objetos) sobre o sistema. O sistema é constituído de uma interface a ser implementada em um módulo Raspberry Pi Zero, o qual tomará ações sobre o controle automático, efetuando o controle através dos valores lidos sobre os sensores, implementados na camada de baixo nível, ESP 32.

Inicializando o sistema pelo usuário através da interface, o sistema realiza um autoteste para checar funcionamento de sensores e movimentar os servos de cada perna para uma posição inicial. Efetuada a inicialização do sistema, o usuário deve escolher entre as opções de movimentação manual ou automática baseada na leitura de sensores. O Diagrama de Sequências obtido é ilustrado na Figura 2.

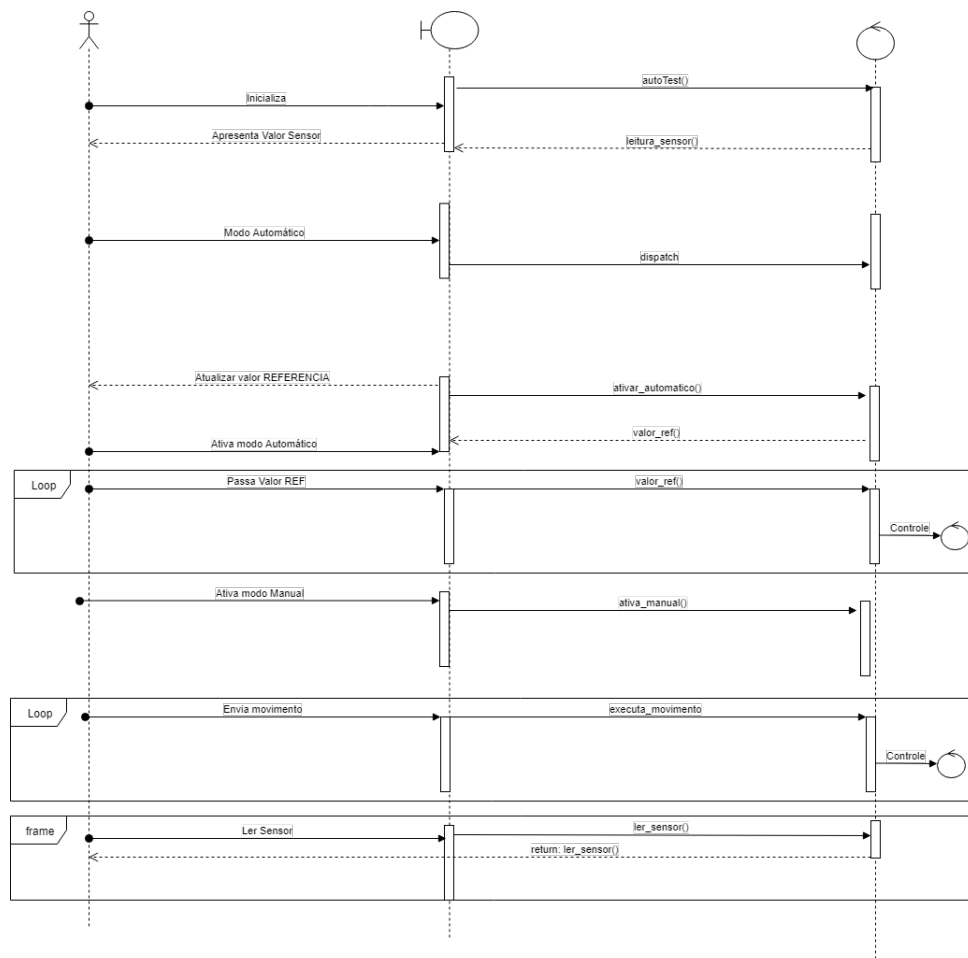


Figura 2: Diagrama sequencial

2.4 Modelo conceitual

O Modelo Conceitual é um conjunto de suposições baseadas no mundo real que indicarão como os componentes do projeto estão relacionados. De acordo com as funcionalidades do nosso projeto foi elaborado um modelo conceitual, com as principais classes do sistema, como apresentado abaixo na figura 3.

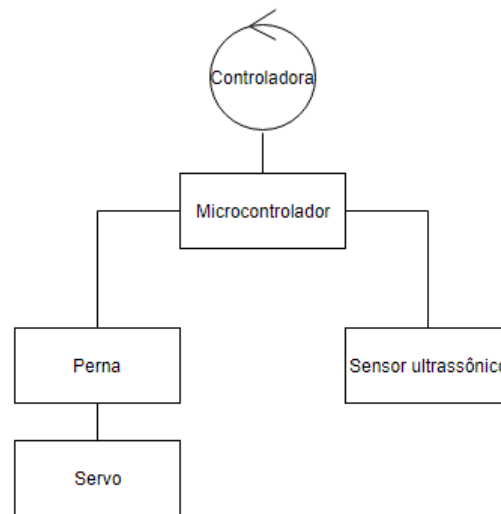


Figura 3: Modelo conceitual

A representação acima é uma generalização dos componentes utilizados no sistema, agrupando os que possuem características semelhantes. Dessa forma, o modelo conceitual amplo, com todos os componentes que serão utilizados, pode ser visto abaixo na Figura 4.

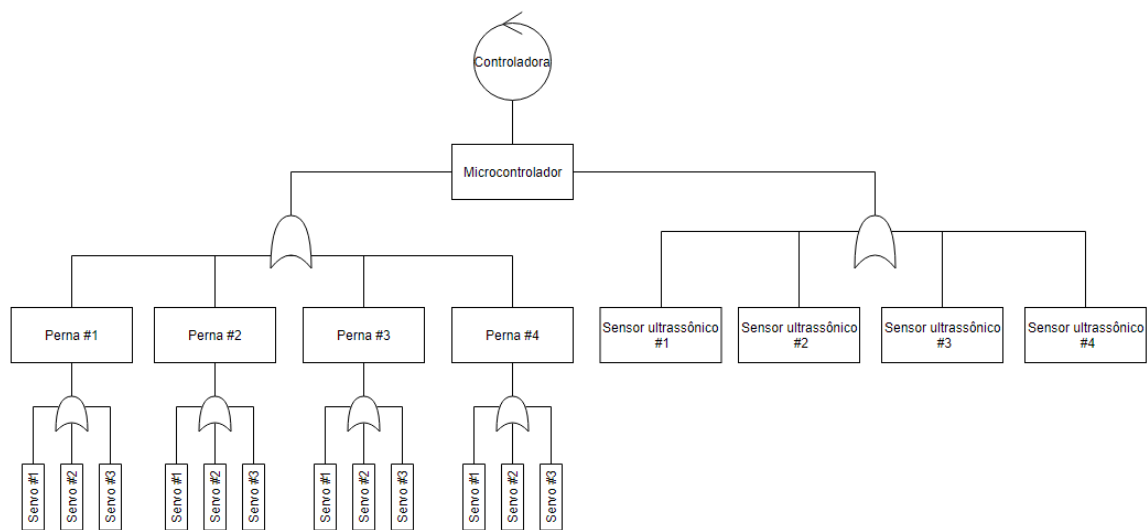


Figura 4: Modelo conceitual expandido

3 Movimentação

Para desenvolver o movimento do robô quadrupede, através de uma discussão entre os integrantes e a empresa *Seashell*, foi determinado a utilização da formulação matemática para desenvolver a cinemática inversa através da inversão da matriz de Denavit-Hartenberg. O desenvolvimento matemático até o atual momento pode ser visualizado nas subseções seguintes.

A matemática demasiadamente complexa por trás dos cálculos de cinemática acabou levando o grupo a tomar, em primeiro momento, uma abordagem *ad-hoc*, visando implementar movimentos ao robô de uma maneira mais simplificada, com movimentos bem definidos calculados através de tentativa e erro. Assim, pode-se continuar o desenvolvimento do projeto, deixando os cálculos de cinemática, que não são um dos requisitos obrigatórios impostos pelo cliente, para serem resolvidos em um momento futuro.

3.1 Cinemática Direta

O desenvolvimento da cinemática direta tem como base os parâmetros de Denavit-Hartenberg. São quatro parâmetros associados a uma convenção para fixar sistemas de referência aos elos de uma cadeia cinemática espacial, ou manipulador robótico. Nesta convenção, sistemas de coordenadas são fixados a articulações entre dois elos, de forma que uma transformação seja associada à articulação $[Z]$, e a segunda transformação seja associada ao elo $[X]$. As transformações de coordenadas ao longo de um robô em série consistindo de n elos resulta nas equações cinemáticas do robô. Estes parâmetros são definidos como descrito abaixo, a Figura 5 representa os parâmetros a serem definidos.

- d : distância ao longo do z_{n-1} anterior até a normal comum do z_n .
- θ : ângulo de rotação do z_{n-1} anterior, iniciando de x_{n-1} até x_n
- α : ângulo de rotação entre z_{n-1} e z_n
- a : distância entre origem $n-1$ e n .

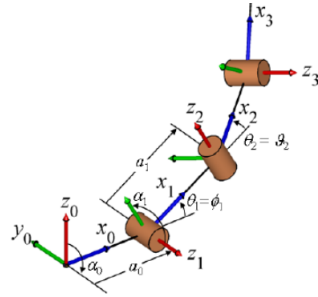


Figura 5: Parâmetros de Denavit-Hartenberg.

Após determinado os parâmetros, foi desenvolvido uma tabela de valores sob o manipulador de três graus de liberdade de cada perna, apresentada na Tabela 1.

	a	θ	α	d
1	$\frac{\pi}{2}$	θ_1	a1	0
2	0	θ_2	a2	0
3	0	θ_3	a3	0

Tabela 1: Parâmetros de Denavit-Hartenberg.

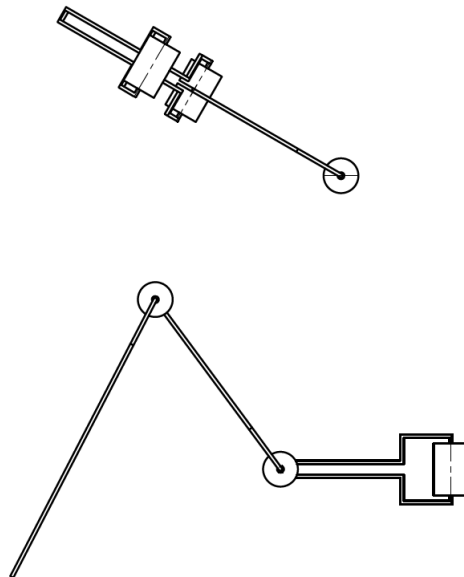


Figura 6: Vistas superior e lateral da perna.

3.2 Máquina de Estados

Para simplificar a movimentação do robô e dar continuidade ao desenvolvimento do projeto, concluímos que para curto prazo seria mais interessante desenvolver a cinemática do sistema com base em uma máquina de estados.

Dado que, para sustentação do robô, é necessário que não haja deslizamento entre as pernas e a superfície de trabalho, o robô deve levantar cada perna que deva ser movimentada. Entretanto, levantar mais de uma perna ao mesmo tempo pode resultar na perda da estabilidade do sistema, sendo assim recomendado para robôs de mesma configuração, que somente uma perna seja removida da superfície por vez.

De modo a garantir a estabilidade do robô mesmo quando uma de suas pernas não está apoiada na superfície de trabalho, é necessário que em todos os instantes o Centro de Gravidade do sistema esteja dentro do triângulo formado pelos pontos de sustentação do mesmo. Esta situação é ilustrada na Figura 7

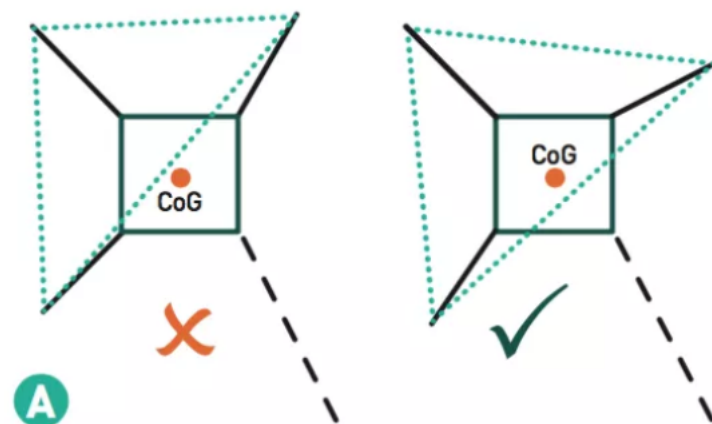


Figura 7: Detalhe do Centro de Gravidade dentro do Robô dentro do triângulo formado pelos pontos seus pontos de sustentação.

Fonte: <https://makezine.com/2016/11/22/robot-quadruped-arduino-program/>

Tendo definidas as condições que devem ser respeitadas para correta movimentação do robô, definiu-se a sequência de movimentação a ser implementada para o mesmo. Esta implementação foi escolhida dada a sua simplicidade de implementação, além de ter uma maior garantia de funcionamento, apesar de ser menos eficiente do que métodos como a cinemática inversa. Isto acontece pois na primeira os movimentos são desenvolvidos em sequência, perna a perna, e na segunda todos os servos das pernas são ajustadas ao mesmo tempo.

A imagem 8 representa os passos a serem tomados para iniciar e desenvolver uma caminhada, sendo as pernas representadas por uma letra de A a D.

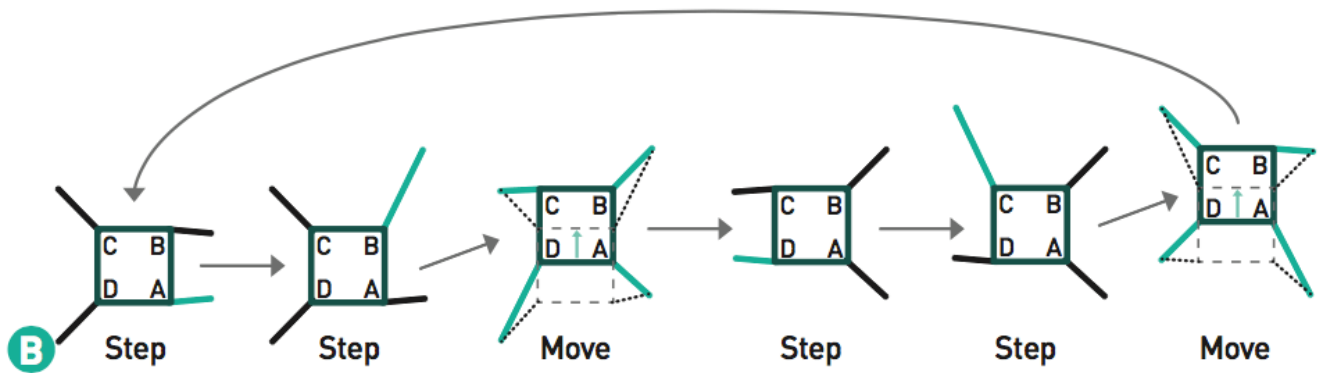


Figura 8: Sequência dos movimentos de perna realizados pelo robô de modo a se deslocar para frente.

Fonte: <https://makezine.com/2016/11/22/robot-quadruped-arduino-program/>

Abaixo, na Figura 9, ilustra-se a máquina de estados obtida.

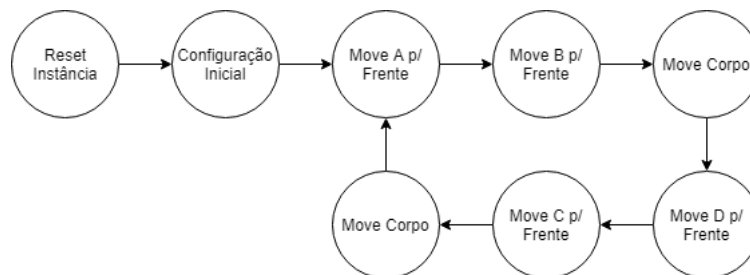


Figura 9: Máquina de Estados para andar

4 Conclusão

Este trabalho apresenta mais algumas informações relevantes para o entendimento do sistema desenvolvido na disciplina Projeto Integrador. Nele foram apresentados o modelo conceitual, as funcionalidades do sistema, o diagrama em árvore e o diagrama sequencial.

As etapas posteriores do trabalho consistem em implementar a movimentação do robô, bem como a máquina de estados com as informações relevantes para que o robô possa desenvolver um movimento para a frente, além de mapear o alcance ideal para cada perna.

As reuniões com a empresa Seashell continuarão ocorrendo regularmente para acertar quaisquer informações relevantes.