

Semáforo inteligente

Francielly de Souza Almeida
Mariana Dourado Ximenes de Sena Santos
Pedro Moraes Ribeiro Gonçalves Silva
Victor Ferraz de Castro Ribeiro

Contextualização, problema resolvido e objetivos do Projeto.

Em áreas urbanas movimentadas, o trânsito eficiente é essencial para garantir a segurança dos motoristas e pedestres, além de reduzir congestionamentos e melhorar a fluidez do tráfego. Os semáforos são elementos-chave na regulação do trânsito, mas muitas vezes operam com base em programações fixas ou temporizadores simples, o que pode levar a problemas como longos períodos de espera em vias com baixo tráfego ou congestionamentos em horários de pico.

Para superar essas limitações, surge a necessidade de um semáforo inteligente que possa se adaptar dinamicamente às condições do tráfego, levando em consideração fatores como a velocidades de veículos em diferentes vias. Um semáforo inteligente é capaz de processar em tempo real os dados de tráfego coletados por sensores e tomar decisões mais eficientes para otimizar a circulação de veículos e pedestres.

O problema a ser resolvido é o fato de os semáforos convencionais não conseguirem se adaptar adequadamente às condições do tráfego. Isso resulta em longos períodos de espera desnecessários, congestionamentos e ineficiência geral no fluxo de veículos. Além disso, os semáforos tradicionais não são capazes de responder a eventos especiais, como acidentes ou obras, o que pode causar ainda mais problemas no trânsito.

O objetivo principal do projeto de semáforo inteligente é melhorar a eficiência e a segurança do tráfego urbano por meio de um semáforo inteligente. Para isso, os objetivos específicos incluem:

1. Coleta de dados de tráfego em tempo real: Implantar sensores e implementar sistemas de monitoramento que possam coletar informações precisas sobre o tráfego, como volume de veículos, velocidades médias, padrões de fluxo e presença de pedestres.
2. Análise e processamento de dados: Desenvolver algoritmos e sistemas de processamento de dados capazes de analisar as informações coletadas e identificar padrões, tendências e situações especiais de tráfego.
3. Tomada de decisões inteligentes: Utilizar os dados analisados para tomar decisões inteligentes sobre o tempo de sinalização em cada semáforo. Isso inclui ajustar os tempos de sinal verde, amarelo e vermelho com base nas condições atuais de tráfego,

priorizando vias com maior volume de veículos e adaptando-se a eventos especiais ou mudanças repentinas nas condições.

Requisitos de usuários e requisitos funcionais

Requisitos de Usuários:

1. Fluidez do tráfego: Os usuários esperam que o semáforo inteligente melhore a eficiência do tráfego, reduzindo o tempo de espera em semáforos e minimizando congestionamentos.
2. Segurança viária: Os usuários desejam um sistema que priorize a segurança (safety), garantindo o fluxo seguro de veículos e pedestres, especialmente em áreas de alto tráfego ou zonas escolares.
3. Adaptação dinâmica: Os usuários esperam que o sistema seja capaz de se adaptar dinamicamente às condições do tráfego em tempo real, ajustando os tempos de sinalização conforme necessário, por meio da tomada de decisões que se baseiam nos dados obtidos pelos sensores.

Requisitos Funcionais:

1. Coleta de dados: O sistema deve ser capaz de coletar dados de tráfego em tempo real por meio de sensores, como radares que monitoram a velocidade, detectores de presença de veículos e pedestres, ou outros dispositivos adequados.
2. Processamento e análise de dados: O sistema deve ser capaz de processar e analisar os dados coletados, identificando padrões de tráfego, estimando volumes de veículos e avaliando a necessidade de ajustes nos tempos de sinalização.
3. Tomada de decisões inteligentes: Com base nos dados analisados, o sistema deve ser capaz de tomar decisões inteligentes para ajustar os tempos de sinalização, priorizando vias com maior congestionamento de veículos, reduzindo o tempo de espera e otimizando o fluxo de tráfego.
4. Sinalização adaptativa: O sistema deve permitir a sinalização adaptativa, ajustando os tempos de sinal verde, amarelo e vermelho de acordo com as condições de tráfego em tempo real.

Fundamentos de Sistemas Distribuídos relacionados ao Projeto (background)

1. Descrição dos princípios de sistemas distribuídos;

1. Comunicação: Os sistemas distribuídos dependem de uma comunicação confiável e eficiente entre os componentes. No caso do semáforo inteligente, os semáforos devem

ser capazes de trocar informações em tempo real, como dados de tráfego, decisões de sinalização e eventos especiais. Protocolos de comunicação robustos e escaláveis devem ser implementados para garantir a transmissão adequada dessas informações.

2. **Cooperação:** Os componentes distribuídos, como os semáforos inteligentes, devem cooperar uns com os outros para alcançar os objetivos do sistema. Isso envolve a troca de informações relevantes, como o status do tráfego e decisões de sinalização, e a coordenação para evitar conflitos, como dois semáforos próximos concedendo sinal verde para a mesma via.

3. **Escalabilidade:** Os sistemas distribuídos devem ser capazes de lidar com um número variável de componentes e lidar com cargas de trabalho diferentes. No contexto do semáforo inteligente, o sistema deve ser capaz de acomodar um número crescente de semáforos e lidar com variações na demanda de tráfego, como horários de pico ou eventos especiais. A arquitetura do sistema deve ser projetada levando em consideração a escalabilidade para garantir um desempenho consistente.

4. **Consistência:** Em um sistema distribuído, a consistência dos dados e decisões é crucial. No caso do semáforo inteligente, é importante garantir que todos os semáforos tenham uma visão consistente do tráfego e tomem decisões coerentes em relação à sinalização. Mecanismos de sincronização e protocolos de consenso podem ser aplicados para manter a consistência entre os componentes distribuídos.

Esses princípios dos sistemas distribuídos são essenciais para o funcionamento adequado e eficiente de um projeto de semáforo inteligente, permitindo a coordenação dinâmica e adaptativa do tráfego para melhorar a eficiência e a segurança viária.

2. Descrição dos fundamentos de arquiteturas de sistemas distribuídos e dos estilos arquiteturais;

Fundamentos de Arquiteturas de Sistemas Distribuídos:

1. **Decomposição:** No projeto de um semáforo inteligente, a decomposição envolve dividir o sistema em componentes distribuídos, como semáforos individuais, sensores de tráfego, unidades de processamento e centrais de controle. Essa decomposição permite a distribuição dos componentes em diferentes locais físicos para melhorar a eficiência e a capacidade de resposta do sistema.

2. **Comunicação:** A comunicação é essencial para o funcionamento do sistema distribuído. Os componentes do semáforo inteligente precisam trocar informações em tempo real, como dados de tráfego, decisões de sinalização e eventos especiais. A comunicação pode ocorrer por meio de redes de comunicação, protocolos de mensagens ou barramentos de eventos, garantindo a troca confiável e eficiente de informações entre os componentes.

Estilo Arquitetural:

Arquitetura baseada em Eventos: No contexto do semáforo inteligente, uma arquitetura baseada em eventos pode ser utilizada. Os diferentes componentes do sistema podem publicar eventos, como a detecção de um aumento repentino de tráfego ou a ocorrência de um acidente, e outros componentes podem se inscrever para receber esses eventos e reagir a eles. Essa arquitetura permite uma comunicação assíncrona e desacoplada entre os componentes, facilitando a adaptabilidade e a resposta em tempo real às mudanças nas condições de tráfego. Esse estilo arquitetural é relevante para o projeto de um semáforo inteligente distribuído, proporcionando uma estrutura sólida para a implementação eficiente, escalável e tolerante a falhas do sistema.

3. Descrição dos fundamentos de paradigmas de comunicação em sistemas distribuídos.

1. Comunicação Assíncrona: No paradigma de comunicação assíncrona, os componentes podem enviar mensagens de forma independente e continuar a execução sem esperar por uma resposta imediata. No contexto do semáforo inteligente, isso pode ser aplicado quando um semáforo envia dados de tráfego atualizados para uma central de controle, que processará as informações e tomará decisões de sinalização em tempo real. Esse paradigma é adequado quando a resposta imediata não é necessária e os componentes podem trabalhar de forma independente.

2. Comunicação baseada em Eventos: Esse paradigma envolve a comunicação entre os componentes do sistema por meio do envio e recebimento de eventos. No projeto do semáforo inteligente, os semáforos podem publicar eventos, como mudança de estado do sinal ou detecção de congestionamento, e outros componentes, como a central de controle, podem se inscrever para receber esses eventos e reagir a eles. Esse paradigma é adequado para comunicação assíncrona e desacoplada, permitindo uma resposta eficiente às mudanças nas condições de tráfego.

4. Descrição sobre robustez em sistemas distribuídos: nomeação, coordenação, consenso, consistência e replicação, e tolerância a falhas.

1. Nomeação: A robustez na nomeação em sistemas distribuídos refere-se à capacidade de atribuir nomes únicos e identificáveis a recursos, como nós, serviços ou objetos, de maneira consistente e resiliente. No contexto do semáforo inteligente, precisamos garantir que os semáforos possam ser identificados e nomeados de forma única para que a comunicação e coordenação entre eles ocorram corretamente. Falhas na nomeação podem levar a conflitos de identificação e, conseqüentemente, a problemas na troca de informações.

2. Coordenação: A coordenação robusta envolve a sincronização eficiente de atividades entre os nós de um sistema distribuído. No contexto do semáforo inteligente, a coordenação é crucial para garantir que os semáforos alterem seus

tempos de sinalização de maneira sincronizada, evitando conflitos de tráfego e acidentes. Uma falha na coordenação poderia levar a situações perigosas no trânsito.

3. **Consenso:** O consenso é a habilidade de nós em um sistema distribuído chegarem a um acordo sobre um valor ou estado, mesmo na presença de falhas. No semáforo inteligente, o consenso pode ser necessário para determinar o tempo de sinal verde ideal com base nos dados coletados, ou quem são os semáforos atualmente verdes. Se não houver um mecanismo robusto de consenso, os semáforos podem tomar decisões conflitantes, resultando em um tráfego caótico.

4. **Consistência e Replicação:** A consistência se refere à garantia de que todos os nós em um sistema distribuído tenham a mesma visão dos dados em um determinado momento. A replicação é a cópia de dados em diferentes nós para aumentar a disponibilidade e a confiabilidade. No contexto desse projeto, consistência e replicação podem ser aplicadas para garantir que as informações de tráfego coletadas e os tempos de sinalização estejam consistentes em todos os semáforos. Uma abordagem inadequada para a consistência e replicação pode levar a desigualdades nas decisões dos semáforos.

5. **Tolerância a Falhas:** A tolerância a falhas é um aspecto crítico em sistemas distribuídos, visando manter a operação adequada mesmo quando ocorrem falhas em nós individuais. Neste projeto, os semáforos devem ser capazes de continuar a funcionar e coordenar o tráfego, mesmo se um ou mais semáforos apresentarem falhas. Isso é especialmente importante para evitar bloqueios ou situações de trânsito perigosas em caso de problemas.

5. Descrição sobre mobilidade

Para lidar com a mobilidade, é necessário implementar um sistema de gerenciamento de mobilidade eficaz. Isso envolve a detecção de movimento, atualização de informações de localização e ajuste da comunicação para manter a conectividade contínua entre os nós móveis e os pontos fixos na rede.

A mobilidade apresenta desafios em termos de coordenação, comunicação contínua e atualização dinâmica de informações. No contexto do semáforo inteligente, a mobilidade pode melhorar a capacidade de adaptação às mudanças nas condições de tráfego e aumentar a eficiência do sistema. No entanto, também exige uma abordagem cuidadosa na implementação para garantir que as transições sejam suaves e não comprometam a segurança ou a funcionalidade do sistema.

Aplicação no projeto

1. Discussão sobre arquiteturas e estilos arquiteturais em termos de sistemas distribuídos aplicados no Projeto;

Inicialmente o projeto parte de uma arquitetura que consiste em um servidor que guardará os dados, 4 nós publicadores (os semáforos) e 1 controlador que será o assinante. Toda a cooperação é organizada pelo controlador (*gerenciamento.py*) onde irá interpretar os dados e alterar o comportamento dos semáforos, como tempo aberto.

Para garantir a escalabilidade é necessário que uma versão mais robusta desse projeto suporte um número maior de ‘controladores’ e servidores, uma vez que em uma escala municipal existem muitos semáforos que pouco interferem no comportamento de outros, assim seria possível horizontalizar a arquitetura, diminuindo a sobrecarga de requisições em um ambiente centralizado.

Neste projeto a consistência é garantida através da centralização de informações, onde existe um único nó (servidor) que contém a informação verdadeira. Isso garante que mesmo com uma eventual falha de algum semáforo (falta de energia), ao se restabelecer ele terá acesso ao estado geral de todos os nós.

2. Discussão sobre os paradigmas de comunicação em sistemas distribuídos aplicados no Projeto.

Neste projeto é utilizado a comunicação assíncrona, os sensores de cada semáforo irão enviar os dados coletados para o servidor. Para implementar essa ideia utilizamos um tópico (*dados_trafego*) onde as informações serão publicadas e armazenadas, assim o controlador terá acesso a elas quando achar necessário. Também é implementada uma estrutura de eventos, quando o controlador identifica um fluxo lento de carros (tráfego) é inicializado todo um procedimento para garantir um novo tempo para o semáforo da rua congestionada e melhorar o fluxo.

3. Discussão sobre a robustez em termos de sistemas distribuídos aplicada no Projeto.

Para ser possível implementar um sistemas mais robusto neste projeto foram adotadas as seguintes técnicas: um número identificador (ID) único para cada semáforo, assim garantimos um nomeação eficiente e evitamos erros de comunicação provenientes de confusões da origem de informações (qual semáforo foi responsável por qual dado). Pelo lado da coordenação, a ideia foi responsabilizar o controlador, uma vez que ele tem acesso a todos os dados e estado dos semáforos, ele consegue tomar decisões responsáveis e garante que semáforos conflitantes não estejam “verde” simultaneamente.

No aspecto de “consenso” o mais importante é que os semáforos tenham a ciência de quem esteja atualmente “verde”, uma vez que não pode ser decidido mudar de estado repentinamente. O consenso é feito através do controlador, ele identifica os estados atuais e irá permitir uma mudança no estado somente em situações que é totalmente inofensiva tal mudança.

Semelhante ao tópico anterior, a consistência dos dados é garantida pela centralização deles na nossa implementação, tornando simples a manipulação das informações e única a visualização do estado geral do sistema. A replicação não foi implementada de maneira explícita, porém para uma versão mais robusta do projeto seria extremamente necessário replicar os dados entre diferentes controladores para terem decisões mais apropriadas não para os semáforos que ele controla, mas para todo o trânsito, por exemplo: coordenar a decisão de dois controladores, cada um com seu cruzamento complexo que indiretamente interferem um no outro.

A maior preocupação de tolerância a falhas na implementação foi não permitir que um semáforo troque de estado repentinamente. Apesar de simulado, esta falha tem consequências sérias em um cenário real, e para garantir que não aconteçam é sempre verificado se semáforos no mesmo sentido (duas ruas paralelas) ainda estão verdes ou também podem ser fechados, em caso positivo ambos se fecham. Também foi implementada a estratégia que no caso de uma possível queda de energia, os quatro semáforos são resetados para estados iniciais padrão.

4. Discussão sobre a mobilidade e ubiquidade aplicadas no Projeto.

O conceito de ubiquidade é um dos grandes alicerces do projeto, uma vez que essa integração da tecnologia com o dia-a-dia das pessoas seria quase imperceptível, porém imprescindível. A ideia de um semáforo inteligente funcionaria completamente por trás dos panos, e visualmente não teria nenhuma mudança uma vez que os sensores já existem e esse projeto consiste em interpretar os dados já fornecidos. Uma ideia futura para integrar ainda mais mobilidade e ubiquidade ao projeto é fazer com que a comunicação não seja somente dos semáforos com o controlador, mas dos próprios carros e smartphones também, permitindo que a central tenha uma visão quase que perfeita do ambiente e sempre tome a melhor decisão possível.

Resultados

1. Design Arquitetural

O projeto consiste em um conjunto de semáforos e radares que se comunicam com uma aplicação que analisa os dados dos radares e muda ou não os temporizadores dos semáforos. Em um cruzamento com semáforos de 4 direções, por exemplo, teríamos 4 semáforos e 4 radares. Um radar por semáforo. O radar é o responsável por coletar a velocidade média da via e enviar para a aplicação de gerenciamento. A aplicação de gerenciamento vai usar as médias da via e verificar se a velocidade média está normal ou muito lenta. Caso a via esteja lenta, essa aplicação de gerenciamento será responsável por aumentar os temporizadores do semáforo e enviar os novos

temporizadores. A comunicação com o semáforo é feita com um microcontrolador acoplado ao semáforo que recebe as informações e controla os temporizadores nos semáforos.

2. Design dos Dados

Os tipos de dados que tiveram que ser padronizados foram:

Comunicação radar -> Gerenciamento:

{street: int, cars: int, mean velocity: double, time: string},

onde:

- street: id da rua,
- cars: quantidade de carros que passaram e foram feitas as médias pelo radar
- mean velocity: Velocidade média calculada pelo radar
- time: timestamp em que foi enviado a média

radar -> Gerenciamento:

int timers[3]

Vetor de timers onde:

- 0 - Vermelho
- 1 - Amarelo
- 2 - Verde

3. Design dos Componentes

Os componentes da aplicação são:

- Semáforo: Adaptação do software de um semáforo que possua um microcontrolador para que ele consiga receber mensagens e, portanto, ser controlado remotamente
- Radar: Adaptação do software de um radar para calcular a média da via em um determinado período de tempo e enviar uma mensagem para a aplicação de controle.
- Componente de gerenciamento: Software centralizado que vai realizar os ajustes de temporizador, receber as informações dos radares e enviar as novos temporizadores para os semáforos.

4. Design de Interação

A interação entre os componentes será feita via pub-sub utilizando o MQTT, onde existirão dois tópicos:

- 'dados_trafego': Tópico utilizado para que o radar envie as médias para a aplicação de gerenciamento.
- 'semaforo_temporizadores': Tópico utilizado para que a aplicação de gerenciamento envie os novos temporizadores para os semáforos.

Limitações, trabalhos futuros e perspectivas do Projeto

Principalmente devido ao tempo, a prova de conceito ficou limitada a uma aplicação simples que carece de alguns detalhes que seriam importantes para averiguar resultados de fato (resultados estatísticos). Além disso, a solução foi mais simples que o desejado, afinal existem algumas aplicações de inteligência artificial e/ou sistemas descentralizados que seriam aplicáveis na "aplicação de gerenciamento".

Para progredir com a pesquisa, vemos alguns principais trabalhos futuros:

1. Aprimorar a aplicação de gerenciamento para uma solução mais eficiente
2. Criar uma simulação em que seja possível visualizar e modificar o fluxo de tráfego e coletar dados estatísticos em que seja possível analisar a melhora no fluxo ou não.
3. Sincronização de Semáforos
 - a. Implementar a sincronização de semáforos ao longo de uma rota para permitir que um veículo mantenha um fluxo contínuo de tráfego.
4. Priorização de Veículos de Emergência
 - a. Implementar um sistema que detecta veículos de emergência (ambulâncias, carros de bombeiros) através de sensores ou sistemas GPS.
5. Previsão de Tráfego
 - a. Usar dados históricos e informações de tráfego em tempo real para prever os padrões de tráfego e ajustar os tempos de sinalização de acordo.
 - b. Possível uso de Machine Learning.