

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Pedro Henrique Bufulin de Almeida

**Sistema de vigilância *open source* e
customizável**

Uberlândia, Brasil

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Pedro Henrique Bufulin de Almeida

Sistema de vigilância *open source* e customizável

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Pedro Frosi Rosa

Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Faculdade de Ciência da Computação

Bacharelado em Ciência da Computação

Uberlândia, Brasil

2021

Pedro Henrique Bufulin de Almeida

Sistema de vigilância *open source* e customizável

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção título de Bacharel em Ciência da Computação.

Trabalho aprovado. Uberlândia, Brasil, 01 de novembro de 2016:

Pedro Frosi Rosa
Orientador

Professor

Professor

Uberlândia, Brasil
2021

Resumo

Os sistemas de vigilância carecem de soluções que sejam customizáveis. Apesar de existirem no mercado câmeras que fazem a gravação e o armazenamento de imagem, elas o fazem com baixa resolução e limitações de espaço de memória severas. Mesmo os equipamentos de monitoramento mais sofisticados, como os que possuem reconhecimento de imagem, limitam o usuário de aprimorar essas funções por ter o *software* como *closed source*. Além disso, as soluções providas pela segurança pública ou privada, quando existem, podem usar as imagens coletadas para seus próprios benefícios, o que afeta a privacidade do indivíduo. Este trabalho propõe uma solução que seja fácil de implementar, com ferramentas prontas para uso e completamente customizável por ser *open source*. Dadas essas características, surge o chamado *Self-Sovereign Camera System* (SSCS)

Palavras-chave: código aberto, visão computacional, IP câmera, streaming multimídia.

Abstract

Surveillance systems lack customizable solutions. Despite the existence of cameras on the market that handle both recording and storage of images, they do so at low resolution and with severe memory space limitations. Even the most sophisticated monitoring equipment, such as those with image recognition capabilities, restrict the user from enhancing these features due to the software being closed source. Furthermore, solutions provided by public or private security, when available, may use the collected images for their own benefit, affecting individual privacy. This work proposes a solution that is easy to implement, equipped with ready-to-use tools, and fully customizable as it is open source. Given these characteristics, the so-called Self-Sovereign Camera System (SSCS) emerges.

Keywords: open source, computer vision, IP camera, multimedia streaming.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Representação de um arquitetura de tempo real genérica	14
Figura 2 – Aplicação da técnica de subtração de fundo baseada em modelos de Mistura Gaussiana	16
Figura 3 – Exemplos de características Haar mostradas em uma janela de detecção	17
Figura 4 – Diagrama RTSP	21
Figura 5 – Componente de exemplo	21
Figura 6 – Exemplo de arquitetura de transmissão	39
Figura 7 – Diagrama isolado do gravador	42
Figura 8 – Diagrama isolado do gravador RTSP	42
Figura 9 – Diagrama isolado do indexador	44
Figura 10 – Diagrama isolado da implementação do indexador com PostgreSQL . .	44
Figura 11 – Diagrama isolado da implementação do reconhecedor de imagens . . .	46
Figura 12 – Diagrama da implementação do reconhecedor de movimento	47
Figura 13 – Diagrama isolado da implementação do gerenciador de armazenamento	49
Figura 14 – Diagrama da implementação do gerenciador de armazenamento usando o sistema operacional	49
Figura 15 – Diagrama da implementação da API HTTP	50
Figura 16 – Diagrama geral do SSCS	51

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela comparativa de resoluções e compressão versus tamanho, baseada em dados obtidos do Surveillance Capacity Calculator (DIGITAL, 2023).	33
--	----

Lista de abreviaturas e siglas

SSCS	Self-Sovereign Camera System
SaaS	Software as a Service
CAGR	Compound Annual Growth Rate
UML	Unified Modeling Language
AVC	Advanced Video Coding
HEVC	High Efficiency Video Coding
VMS	Video surveillance Management System
FPS	Frames Per Second
API	Application Programming Interface
ORM	Object-Relational Mapping
DVR	Digital Video Recorder
NVR	Network Video Recorder
REST	Representational State Transfer
HSL	HTTP Live Streaming
RTSP	Real-time Streaming Protocol
SDP	Session Description Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
AU	Access Unit
NALU	Network Abstraction Layer Unit
WebRTC	Web Real-time Communication
SRT	Secure Reliable Transport
RTMP	Real Time Messaging Protocol
LBPH	Local Binary Patterns Histogram

NUC	Next Unit of Computing
SBC	Single Board Computer
SATA	Serial AT Attachment

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	12
1.1.1	Objetivos específicos	12
1.2	Justificativa	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Elementos genéricos de um sistema de multimídia	14
2.1.1	Dados de mídia	14
2.2	Técnicas de reconhecimento de imagem	15
2.2.1	Subtração de Fundo baseada em Modelos de Mistura Gaussiana	15
2.2.2	Detecção de objetos usando classificadores em cascata baseados em características de haar	16
2.3	Sistema distribuído	18
2.4	Banco de dados relacional	19
2.5	Protocolo RTSP	19
2.6	Diagrama UML de Componentes	20
2.7	Versionamento Semântico (SEMVER)	22
2.8	Daemon	23
2.9	Princípios SOLID	23
2.10	Servidor Proxy	24
2.11	Licenças de Software	24
2.12	Encodings de vídeo e som	25
2.12.1	H.264	25
2.13	Tecnologias	26
2.13.1	Containerização com Docker	26
2.14	Linguagem Go	27
2.15	openCV	28
2.16	Trabalhos Correlatos	29
3	MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO	30
3.1	Estado da Arte de Câmeras de Vigilância	30
3.2	Tecnologias e técnicas comuns	31
3.2.1	métodos de transmissão	31
3.2.2	algoritmos de reconhecimento de imagem	32
3.2.3	armazenamento, resolução e compressão	32
3.2.4	vulnerabilidades de segurança	33

3.2.5	custos de operação	34
4	DESENVOLVIMENTO	37
4.1	Ambiente de desenvolvimento	37
4.2	Gerenciador de Configuração	40
4.3	Gravador	40
4.3.1	Implementação de gravador com RTSP e compressão H.264	42
4.4	Indexador	43
4.4.1	Implementação do indexador com PostgreSQL	44
4.5	Reconhecedor	45
4.5.1	Implementação de reconhecedor de movimento	46
4.6	Implementação do detector usando cascata Haar	47
4.7	Gerenciador de armazenamento	47
4.7.1	Implementação de gerenciador de armazenamento sobre espaço em disco . .	49
4.8	HTTP RESTful API	50
4.9	Core	50
4.10	Documentação	52
5	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS	56

1 Introdução

Em 2019 foi estimado que existem 200 milhões de câmeras de vigilância na China e na última década, avanços tecnológicos tornaram essas câmeras ainda mais eficientes em monitorar 1.4 bilhões de chineses. Ainda segundo o autor, o reconhecimento de rostos por câmeras começou a ser uma realidade em 2010 quando pesquisadores descobriram algoritmos de deep learning usados para reconhecer imagens e voz. Esses algoritmos podem também inferir em tempo real a quantidade e a densidade de pessoas numa dada imagem (QIANG, 2019).

Esta intensificação do uso da tecnologia de vigilância não se limita à China; ou está se tornando ou já é a realidade em muitos outros países. De acordo com um relatório da Market Research Future (GUPTA, 2018), a América do Norte é atualmente líder em termos de participação de mercado de câmeras de CCTV, detendo 28,5% do mercado global, seguida pela Europa com 18,3%. Este domínio é reflexo de um mercado de vigilância por vídeo que tem mostrado crescimento substancial: avaliado em 45,9 bilhões de dólares em 2021, este mercado tem uma projeção de crescimento para 110,2 bilhões de dólares até 2030, com uma taxa composta anual de crescimento (CAGR) de 11,6% para o período de 2022 a 2030. Esses dados evidenciam não apenas a escala atual da indústria de vigilância, mas também sua trajetória ascendente, realçando a importância de abordar questões de privacidade e segurança em um contexto tão amplo e em rápido crescimento.

À medida que o mercado de vigilância por vídeo se expande, os sistemas associados também se tornam progressivamente mais complexos e de maior alcance. Isso demonstra a necessidade de infraestruturas mais robustas e eficientes. Nesse contexto, é intrigante observar que as complicações técnicas enfrentadas pelos sistemas de vigilância têm muitas semelhanças com aquelas encontradas em plataformas de streaming de vídeo. Ambos os tipos de sistemas têm uma dependência substancial de infraestruturas distribuídas para assegurar a prestação de serviços em tempo real, de maneira eficaz e confiável.

Entretanto, a privacidade dos indivíduos não é uma preocupação primária dos principais provedores desse tipo de serviço. Nesse contexto, tecnologias de código aberto podem oferecer uma solução, pois permitem que qualquer pessoa verifique se o software tratando a segurança e a privacidade de maneira adequada (MARDJAN; JAHAN, 2016).

Considerando-se a necessidade de criar uma solução que traga os benefícios da vigilância com as funcionalidades modernas de reconhecimento de imagem, armazenamento e mantendo a privacidade individual, surge neste trabalho a proposta da construção de um software de vigilância.

1.1 Objetivos

O propósito deste trabalho é projetar um sistema de monitoramento integralmente sustentado por software livre, com capacidade de integração com uma ampla variedade de dispositivos de hardware. Este sistema oferecerá visualização em tempo real de imagens de câmeras, incorporando algoritmos de visão computacional para análise destas. Será possível armazenar e buscar vídeos, utilizando critérios identificados pelos algoritmos. Uma das grandes virtudes do projeto é sua adaptabilidade: ele é projetado para permitir a inclusão de novas funcionalidades, como notificações de eventos, e a modificação de características existentes. Por exemplo, o armazenamento pode ser configurado para ser local ou em nuvem, e o processamento para reconhecimento de imagens pode ocorrer tanto em transmissões ao vivo quanto em vídeos arquivados. Para facilitar a implementação e personalização do sistema, será disponibilizada uma documentação abrangente, delineando várias opções de uso para satisfazer as distintas necessidades dos usuários.

1.1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos envolvem:

1. Desenvolver todo o software com código aberto e mantê-lo publicamente disponível no Github.
2. Usar a containerização como estratégia para conseguir portabilidade entre vários hardwares e sistemas operacionais diferentes.
3. Implementar uma funcionalidade de visualização em tempo real de imagens provenientes de câmeras.
4. Incorporar algoritmos de visão computacional para análise e processamento das imagens em tempo real.
5. Projetar e desenvolver um módulo de armazenamento flexível, permitindo opções tanto locais quanto em nuvem.
6. Habilitar a busca de vídeos com critérios baseados nas identificações realizadas pelos algoritmos de visão computacional por meio de uma API.
7. Possibilitar a customização do sistema, incluindo a adição de novas funcionalidades como notificações de eventos.
8. Adaptar o sistema para permitir variações nos métodos de reconhecimento de imagens, seja em transmissões ao vivo ou em vídeos arquivados.
9. Produzir uma documentação detalhada e abrangente, facilitando a implementação, personalização e manutenção do sistema por parte dos usuários.

1.2 Justificativa

Ainda que existam várias soluções disponíveis em hardware, elas não se integram facilmente umas com as outras. Por vezes usam protocolos e formatos de arquivo diferentes, excluindo alguns softwares de se integrarem com o hardware. Outras vezes é o contrário: o software não se adapta ao hardware, e mesmo se existe um que seja possível integrar, ele não tem as funcionalidades desejadas. Portanto, faz sentido um software customizável que possa se adaptar as necessidades do usuário e que crie uma fundação para criar novas funções de vigilância.

2 Fundamentação Teórica

Neste capítulo, são apresentadas as tecnologias e os conceitos que serão empregados ao longo da execução deste projeto. Esses conceitos estão relacionados à arquitetura do sistema que será desenvolvido, aos protocolos, técnicas de reconhecimento de imagem, compressão, técnicas de software e demais elementos necessários para a materialização da solução proposta.

2.1 Elementos genéricos de um sistema de multimídia

A figura abaixo mostra um sistema de cliente-servidor para transmissão de dados de multimídia. Na origem, tem-se a gravação comprimida, codificada e armazenada no dispositivo de armazenamento, como um disco rígido, por exemplo. Em seguida, por meio de algum software de mídia, esses arquivos são requisitados por usuários e entregues de acordo. Uma Network Interface Card (NIC na figura) então usa um protocolo de transmissão via rede para entregar os dados de multimídia para o cliente (tais como RTMP, HLS, RTSP, WebRTC), onde eles são primeiramente armazenados na memória principal ou disco e eventualmente decodificados e apresentados ao usuário.

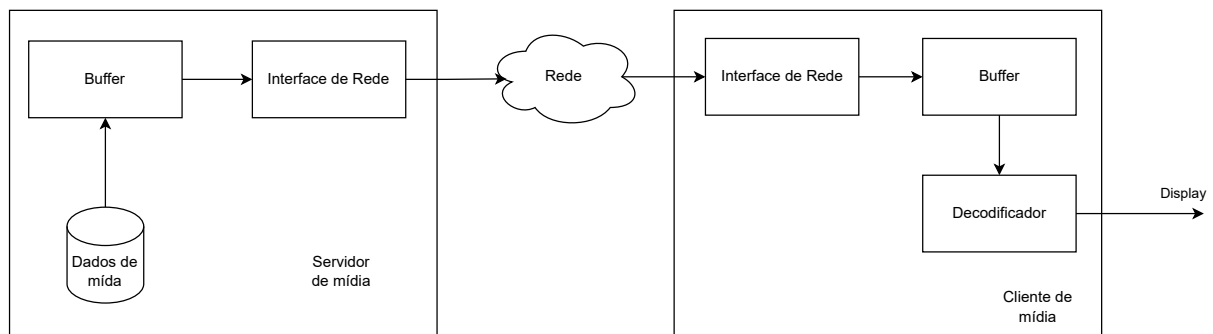


Figura 1 – Arquitetura genérica de transmissão em tempo real

Uma característica única deste modelo de sistema é que os componentes do sistema envolvidos trabalham em conjunto no processo de entrega de dados. Assim, um problema em qualquer um dos componentes do sistema pode degradar o desempenho de toda a cadeia.

2.1.1 Dados de mídia

O 'multi' em multimídia refere-se a múltiplos meios de comunicação do mesmo tipo ou de tipos diferentes que são criados, entregues e apresentados juntos. Existem muitos

tipos diferentes de mídia, desde o texto simples mais básico, até texto formatado, gráficos, imagens, áudio, vídeo ou até mesmo informações táteis. Podemos classificar amplamente esses diversos tipos de mídia em duas categorias principais, especialmente no contexto da entrega de dados multimídia: mídias discreta ou contínuas.

As discretas referem-se às que não possuem nenhum requerimento explícito de tempo de apresentação. Por exemplo, buscar na rede para exibi-la no navegador. Dependendo da largura de banda disponível, o navegador pode levar um tempo largamente variável até receber a imagem antes que ela seja decodificada e em seguida apresentada. Obviamente, é preferível que esse processo seja o mais breve o possível, mas desde que os dados da imagem sejam recebidos corretamente, renderizados e apresentados, a requisição é considerada bem sucedida. Em outras palavras, não há restrição inerente nos dados de mídia que exigem a apresentação em um prazo de tempo ou limite de atraso. É por isso que o tráfego de rede criado pela entrega de mídia discreta é chamado tráfego elástico. Esse nome refere-se à possibilidade de tolerar variações em tempo de atraso.

As contínuas, em contrapartida, possuem um prazo de tempo para a apresentação embarcados nos seus dados de mídia. Por exemplo, dados de vídeo estão geralmente codificados em quadros que precisam ser apresentados sequencialmente em uma frequência específica como 25 FPS. Portanto, para apresentar o vídeo corretamente é necessário não só receber os dados corretamente como também sequenciar de acordo com os tempos especificados. Falhas no sequenciamento podem causar degradações perceptíveis na qualidade do vídeo (movimentação lenta ou fatiada) mesmo se a transmissão foi bem sucedida. Nesse sentido, tráfego de rede proveniente de mídia contínua também é conhecido como tráfego não-elástico, pois precisa manter o tempo íntegro. (LEE, 2005a)

2.2 Técnicas de reconhecimento de imagem

2.2.1 Subtração de Fundo baseada em Modelos de Mistura Gaussiana

A subtração de fundo desempenha um papel crucial no pré-processamento de muitas aplicações de visão computacional. Por exemplo, em um contador de visitantes, onde uma câmera estática registra a entrada e saída de pessoas em uma sala, ou em uma câmera de tráfego que extrai informações dos veículos, há a necessidade de isolar com precisão as pessoas ou veículos em movimento do fundo estático. Nesses cenários, é necessário encontrar as imagens dinâmicas, separando-as das estáticas.

Se no cenário houver uma imagem apenas do fundo, ou seja, de uma sala sem visitantes ou uma estrada sem veículos, o reconhecimento é tecnicamente mais fácil. Basta subtrair a nova imagem do fundo. Porém, na maioria dos casos, a imagem não é regular, então é preciso extrair o fundo das imagens existentes. Essa tarefa fica mais complicada

quando há sombras nos objetos em movimento, pois a sombra se move junto com o objeto e algoritmos que não levam isso em consideração marcam a sombra como plano primário ([OpenCV, 2021](#)).

Nesse sentido, como a maioria dos algoritmos de subtração de fundo têm sua performance afetada pela disposição da iluminação do cenário, pesquisadores desenvolveram um método baseado na mistura de Gaussianos para lidar com esse problema. Nesse método, no lugar de modelar os valores de todos os pixels em um tipo particular de distribuição, os valores de um pixel em particular são modelados como uma mistura de Gaussianos. Baseado na persistência e variância de cada um dos Gaussianos da mistura, é possível determinar quais Gaussianos correspondem à cores do fundo. Valores de pixel que não se encaixam nas distribuições do fundo são considerados como primeiro plano, até que um Gaussiano inclua-as com evidências consistentes e suficientes.

Assim, essa técnica se adapta para lidar com robustez à mudanças na iluminação, movimentos repetitivos de elementos em cena, rastreamento através de regiões desordenadas, objetos de movimento lento e introdução ou remoção de objetos da cena. Objetos que se movem lentamente levam mais tempo para serem incorporados ao fundo, porque a cor deles tem uma variação maior do que a do fundo. Além disso, variações repetitivas são aprendidas, e um modelo para a distribuição de fundo é geralmente mantido, mesmo que temporariamente substituído por outra distribuição, o que leva a uma recuperação mais rápida quando os objetos são removidos. ([STAUFFER; GRIMSON, 1999](#))



Figura 2 – Aplicação da técnica de subtração de fundo baseada em modelos de Mistura Gaussiana

Fonte: [Subtração de fundo no OpenCV](#)

2.2.2 Detecção de objetos usando classificadores em cascata baseados em características de haar

Neste método, utiliza-se aprendizado de máquina, onde uma função de cascata é treinada a partir de um grande número de imagens positivas (contendo o objeto de

interesse) e negativas (sem o objeto de interesse). Nisso, as características Haar, inspiradas nas wavelets de Haar, são usadas para encontrar padrões visuais que diferenciam o objeto de interesse do restante da imagem.

Essas características haar são simples retângulos de 3 tipos. A de dois retângulos, onde o valor dessa é atribuído calculando-se a diferença entre a soma dos pixels dentro de duas regiões retangulares de mesmo tamanho e forma, adjacentes horizontalmente ou verticalmente. A de três retângulos calcula a soma dentro de dois retângulos externos subtraindo a soma em um retângulo central. Por último, uma característica de quatro retângulos calcula a diferença entre pares de retângulos diagonais.

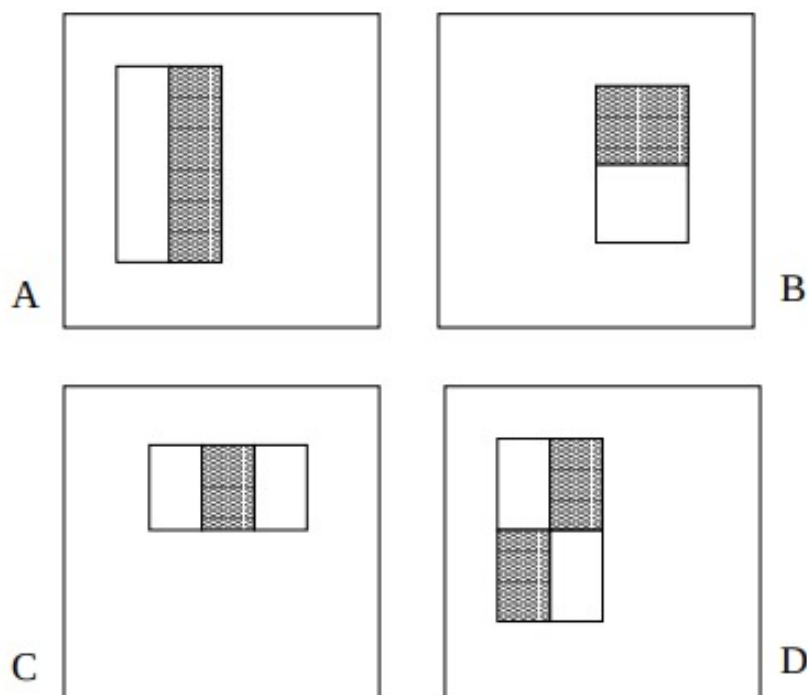


Figura 3 – Exemplos de características Haar mostradas em uma janela de detecção

Imagem extraída de artigo. (VIOLA; JONES, 2001)

As características Haar também podem ser calculadas rapidamente graças ao uso de uma representação intermediária para a imagem chamada de imagem integral, que permite a soma de valores de intensidade em áreas retangulares da imagem de forma eficiente. Estas características são simples, mas extremamente eficazes na captura de bordas, linhas e mudanças de textura em imagens.

A arquitetura em cascata do classificador também acrescenta na velocidade do método. Cada estágio da cascata utiliza um conjunto de características Haar para determinar se uma determinada região da imagem deve continuar sendo processada pelas etapas subsequentes. As regiões que são prontamente identificadas como não contendo o objeto são descartadas, reduzindo significativamente o volume de cálculos necessários

para a detecção.

Este método mostrou-se particularmente eficaz na detecção de rostos em tempo real, mas também pode ser adaptado para a detecção de outros tipos de objetos. A capacidade de operar em tempo real e com precisão tornou essa técnica um marco na área de visão computacional, abrindo caminho para aplicações práticas em segurança, interação humano-computador e outras áreas (VIOLA; JONES, 2001).

2.3 Sistema distribuído

Um sistema distribuído é um sistema em que os componentes de hardware ou software conectados em rede se comunicam e coordenam suas operações exclusivamente por meio da troca de mensagens. Essa descrição destaca as seguintes características cruciais dos sistemas distribuídos:

- Concorrência: em uma rede de computadores, a execução concorrente de programas é comum. É possível que um usuário realize uma tarefa em um computador, enquanto outro faz suas tarefas em outra máquina, compartilhando recursos como páginas Web ou arquivos, quando necessário. A capacidade do sistema de manipular recursos compartilhados pode ser ampliada pela adição de mais recursos (por exemplo, computadores) na rede.
- Inexistência de relógio global: a coordenação frequentemente depende de uma noção compartilhada do tempo em que as ações dos programas ocorrem. Entretanto, verifica-se que existem limites para a precisão com a qual os computadores podem sincronizar seus relógios em uma rede: não existe uma noção global única do tempo correto. Essa é uma consequência direta do fato de que a única comunicação se dá por meio do envio de mensagens em uma rede.
- Falhas independentes: todos os sistemas de computador podem falhar, e é responsabilidade dos projetistas de sistema pensar nas consequências das possíveis falhas. Nos sistemas distribuídos, as falhas são diferentes. Falhas na rede resultam no isolamento dos computadores que estão conectados a ela, mas isso não significa que eles param de funcionar. Na verdade, os programas neles existentes talvez não consigam detectar se a rede falhou ou se ficou demasiadamente lenta. Analogamente, a falha de um computador ou o término inesperado de um programa em algum lugar no sistema (um colapso no sistema) não é imediatamente percebida pelos outros componentes com os quais ele se comunica. Cada componente do sistema pode falhar independentemente, deixando os outros ainda em funcionamento.

A principal motivação para construir e usar sistemas distribuídos é proveniente do desejo de compartilhar recursos. O termo “recurso” caracteriza o conjunto de componentes que podem ser compartilhadas de maneira útil em um sistema de computadores interligados em rede. Esses componentes podem ser tanto em hardware, como discos, impressoras, câmeras, quanto em software, como arquivos, bancos de dados e objetos de dados de todos os tipos. (COULOURIS et al., 2013)

2.4 Banco de dados relacional

Um banco de dados relacional emprega o modelo relacional de dados, uma inovação significativa proposta por Edgar F. Codd na década de 1970 Codd (1970). Este modelo é fundamentado na teoria dos conjuntos e utiliza abstrações em tabelas para organizar os dados. Cada tabela é composta por linhas (também conhecidas como registros) e colunas (atributos), onde cada linha possui um valor único chamado chave primária, que identifica o registro de maneira exclusiva. Essa estrutura permite a inter-relação entre diferentes tabelas, facilitando a organização, armazenamento e recuperação eficiente dos dados.

Os sistemas de gerenciamento de bancos de dados relacionais (RDBMS, por sua vez,) são softwares que implementam o modelo relacional anterior e oferecem uma interface para que os usuários e aplicações possam interagir com os dados de maneira abstrata, sem a necessidade de entender os detalhes complexos de como os dados são armazenados fisicamente. Além de gerenciar o armazenamento dos dados, os RDBMS também fornecem recursos para consulta, atualização, manipulação e administração dos dados, geralmente através da linguagem SQL (Structured Query Language). Esta abordagem centraliza o gerenciamento dos dados e oferece mecanismos robustos para garantir a integridade, segurança e otimização das operações com os dados.

Ao adotar o modelo relacional, os RDBMS tornaram-se fundamentais para a maioria das aplicações empresariais, devido à sua eficiência, confiabilidade e facilidade de uso.

2.5 Protocolo RTSP

O Real-time Streaming Protocol (RTSP) é um protocolo da camada de aplicação projetado para controlar a entrega de dados de mídia (por exemplo, reproduzir, pausar e buscar) com informações de tempo embutidas, como áudio e vídeo. O protocolo é independente do protocolo de camada inferior. Assim, o RTSP pode ser transmitido por meio de TCP, UDP ou outros protocolos de transporte. A sintaxe do RTSP compartilha muitas semelhanças com o HTTP/1.1, simplificando assim a implementação e a implantação. No entanto, além das semelhanças de sintaxe, o RTSP difere do HTTP em muitos aspectos

importantes.

Primeiro, ao contrário do HTTP, o RTSP é um protocolo com estado, exigindo que o host mantenha informações de estado de uma sessão de streaming em várias requisições RTSP. Segundo, tanto o servidor quanto o cliente RTSP podem emitir requisições RTSP. Finalmente, os dados de mídia devem ser entregues fora do canal principal, ou seja, usando um protocolo separado, como, mas não limitado a, o Protocolo de Transporte em Tempo Real (RTP).

Em uma aplicação de streaming típica (veja a figura abaixo), o cliente primeiro obterá um arquivo de descrição de apresentação usando métodos fora do canal principal (por exemplo, através da web usando HTTP). O arquivo de descrição de apresentação descreve uma ou mais apresentações, cada uma composta por uma ou mais transmissões de mídia sincronizadas. O arquivo de descrição de apresentação também contém propriedades das transmissões de mídia, como o formato de codificação, para permitir que o cliente selecione e se prepare para a reprodução da mídia. Cada transmissão de mídia controlável é identificada por uma URL RTSP separada, que é semelhante à URL HTTP no sentido de que identifica o servidor que hospeda a transmissão de mídia e o caminho lógico que identifica a transmissão de mídia. Observe que as transmissões de mídia em uma apresentação podem vir de vários servidores e cada transmissão é controlada por meio de uma sessão RTSP separada. (RAO; LANPHIER; SCHULZRINNE, 1998)

2.6 Diagrama UML de Componentes

O diagrama de componentes é uma ferramenta da UML (Unified Modeling Language). Ele tem como objetivo visualizar a organização e as relações entre diferentes componentes em um sistema de software. Enquanto outros diagramas focam na funcionalidade do sistema, o diagrama de componentes se concentra no aspecto estrutural.

Um diagrama de componentes representa partes modulares de um sistema, chamadas de componentes. Estes componentes podem ser físicos (como bibliotecas, módulos, arquivos) ou conceituais e estão conectados através de interfaces. Estas interfaces são os pontos de interação entre os componentes.

Características dos diagramas de componentes:

- Mostram as dependências entre os componentes.
- Identificam as interfaces que conectam os componentes.
- Auxiliam na modularização e reutilização de software.
- Oferecem uma visão da arquitetura do sistema.

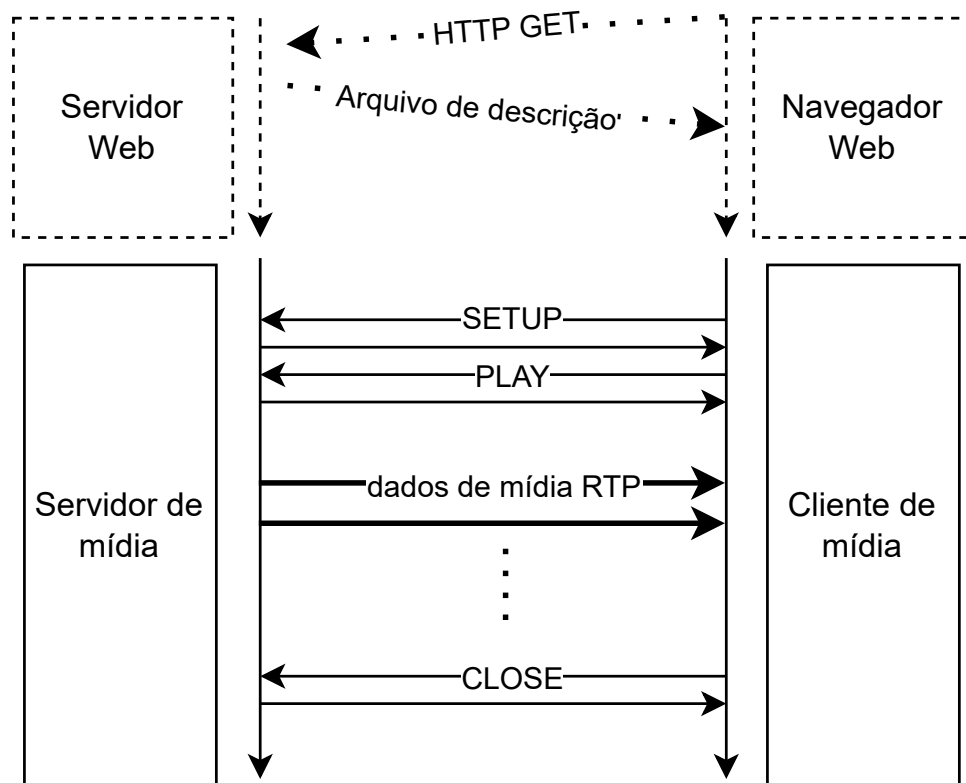


Figura 4 – Transmissão de mídia usando o RTSP, início ao fim.

Figura traduzida.([LEE, 2005b](#))

Ao trabalhar com diagramas de componentes, as equipes podem compreender melhor a estrutura do sistema e identificar áreas para atenção ou desenvolvimento.

Abaixo, um exemplo de um componente e suas partes:



Figura 5 – Componente, provendo uma interface e com requerimento de outra

O componente é representado pela estrutura retangular. O ícone no topo direito do retângulo é opcional, sendo uma especificação do UML 1.4. Na Figura, o círculo à esquerda com a legenda PublishStream indica uma interface provida, e o semicírculo indica uma interface requerida.

Uma interface fornecida é aquela que é realizada diretamente pelo próprio componente, ou realizada por um dos classificadores que implementam o componente, ou ainda fornecida por uma porta pública do componente. Na notação de pirulito, temos a

interface fornecida do componente. No exemplo, o componente de `MediaServer` fornece (implementa) a interface de `PublishStream`.

Uma interface necessária é aquela designada por uma dependência de uso do próprio componente, ou designada por uma dependência de uso de um dos classificadores que implementam o componente, ou ainda é exigida por uma porta pública do componente. No exemplo, o componente `MediaServer` requer a interface `ReadStream`.

O pequeno quadrado na linha é uma porta, e ela indica que a interface faz parte não do componente em si mas de um de seus componentes internos encapsulados.

2.7 Versionamento Semântico (SEMVER)

O *SEMVER*, abreviação de Versionamento Semântico, é uma convenção de nomenclatura usada para gerenciar e comunicar eficazmente as mudanças em versões de software. Ele cria uma maneira compreensível de representar as mudanças em software através do número de sua versão.

A estrutura básica de um número de versão SEMVER é *MAJOR.MINOR.PATCH*, onde:

- *MAJOR* é incrementado para mudanças incompatíveis que requerem que o usuário faça algo diferente.
- *MINOR* é incrementado quando são feitas adições em um modo compatível, ou seja, quando funcionalidades são adicionadas sem alterar o comportamento das funcionalidades existentes.
- *PATCH* é incrementado após correções de bugs que são compatíveis e não afetam o funcionamento global do software de maneira significativa.

Além destes três números principais, o SEMVER também permite a adição de etiquetas pré-lançamento e de build, que podem ser usadas para representar versões alfa, beta, candidatas a lançamento, entre outros.

O principal benefício de adotar o *SEMVER* é a clareza. Ao olhar para o número de versão de um software, os desenvolvedores podem rapidamente entender a natureza e a magnitude das mudanças, facilitando decisões sobre a atualização ou integração de dependências. ([PRESTON-WERNER, 2013](#))

2.8 Daemon

Um daemon é um processo em segundo plano que normalmente é executado indefinidamente. O sistema operacional UNIX depende de muitos processos daemon para realizar tarefas rotineiras (e não tão rotineiras). No ambiente operacional Solaris, por exemplo, o daemon `pageout` gerencia a paginação para o gerenciamento de memória. O `in.rlogind` lida com solicitações de login remoto. Outros daemons lidam com correio, transferência de arquivos, estatísticas e solicitações de impressora, para citar alguns. (KAY, 2003)

2.9 Princípios SOLID

Os princípios SOLID, nos dizem como organizar nossas funções e estruturas de dados em classes e como essas classes devem estar interconectadas. O uso da palavra "classe" não implica que esses princípios se aplicam apenas ao software orientado a objetos. Uma classe é simplesmente um agrupamento acoplado de funções e dados. Todo sistema de software tem esses agrupamentos, quer sejam chamados de classes ou não. Os princípios SOLID se aplicam a esses agrupamentos. O objetivo dos princípios é a criação de estruturas de software de nível médio que são fáceis de entender, formam a base de componentes que podem ser usados em muitos sistemas software.

A história dos princípios SOLID é longa. Comecei a montá-los no final dos anos 1980, enquanto debatia princípios de design de software com outras pessoas no USENET (um tipo primitivo de Facebook). Ao longo dos anos, os princípios mudaram e evoluíram. Alguns foram excluídos. Outros foram mesclados. Ainda outros foram adicionados. O agrupamento final estabilizou-se no início dos anos 2000, embora eu os tenha apresentado em uma ordem diferente.

- **SRP: Princípio da Responsabilidade Única**

Um corolário ativo da lei de Conway: A melhor estrutura para um sistema de software é fortemente influenciada pela estrutura social da organização que o utiliza, de forma que cada módulo de software tenha uma, e apenas uma, razão para mudar.

- **OCP: Princípio Aberto-Fechado**

Bertrand Meyer tornou este princípio famoso na década de 1980. Em essência, para que os sistemas de software sejam fáceis de alterar, eles devem ser projetados para permitir que o comportamento desses sistemas seja alterado pela adição de novo código, em vez de alterar o código existente.

- **LSP: Princípio da Substituição de Liskov**

A famosa definição de subtipos de Barbara Liskov, de 1988. Em resumo, este prin-

cípio diz que para construir sistemas de software a partir de peças intercambiáveis, essas peças devem aderir a um contrato que permita que sejam substituídas umas pelas outras.

- **ISP: Princípio da Segregação da Interface**

Este princípio aconselha os designers de software a evitar depender de coisas que eles não usam.

- **DIP: Princípio da Inversão de Dependência**

O código que implementa políticas de alto nível não deve depender do código que implementa detalhes de baixo nível. Pelo contrário, os detalhes devem depender das políticas.

Esses princípios, se aplicados em conjunto e habilmente, tornam o código mais limpo, legível, organizado e de fácil manutenção. ([MARTIN, 2018a](#))

2.10 Servidor Proxy

Explicar o porquê de às vezes usar um proxy. Às vezes queremos dar um feed de imagem, mas não tem como fazer uma conexão direta ao sistema que está provendo diretamente a imagem com RTSP. Tanto porque o sistema não consegue lidar com muitas requisições ao mesmo tempo, ou porque ele está numa intranet que precisa de um acesso seguro para prover ao resto da rede.

2.11 Licenças de Software

Ao desenvolver software, a escolha de uma licença apropriada é crucial, pois ela dita como o software pode ser distribuído, utilizado, modificado e compartilhado. Licenças de software são instrumentos legais que protegem tanto o criador quanto os usuários finais, estabelecendo regras claras sobre o que pode e não pode ser feito com o software.

A escolha da licença impacta diretamente a maneira como um sistema é construído e mantido. Por exemplo, licenças permissivas como a MIT ([INITIATIVE, 2023](#)) ou a Licença Apache ([FOUNDATION, 2004](#)) permitem que o código seja utilizado em software proprietário, enquanto licenças copyleft, como a GNU GPL (General Public License) ([FOUNDATION, 2007](#)), exigem que modificações ou trabalhos derivados também sejam de código aberto, mantendo o software livre e protegendo futuras modificações e redistribuições sob os mesmos termos.

No entanto, licenças copyleft são por vezes rotuladas como "licenças virais", um termo pejorativo que surgiu em meados de 1990, um ano depois do lançamento da GPLv1.

Devido à maneira como suas obrigações legais podem se estender aos projetos derivados. Essas licenças estipulam condições específicas, sob as quais os direitos de uso, cópia, modificação e distribuição são concedidos. O não cumprimento dessas condições pode revogar esses direitos, resultando em implicações legais para os usuários. Isso tem o potencial de criar um efeito cascata, onde as obrigações da licença se estendem não apenas ao projeto original, mas a todos os projetos derivados, exigindo que mantenham as mesmas liberdades para os usuários finais, sob pena de terem que interromper o uso ou distribuição do software. ([GENERAL...](#),)

2.12 Encodings de vídeo e som

Encodings de vídeo, também conhecidos simplesmente como codecs de vídeo, são algoritmos e padrões que comprimem e codificam dados de vídeo, removendo redundâncias e detalhes visuais não perceptíveis, para reduzir o tamanho dos arquivos e permitir sua transmissão, armazenamento e reprodução eficientes. Eles desempenham um papel fundamental na compressão de vídeo e na manutenção da qualidade do conteúdo visual.

Existem vários padrões de codecs de vídeo, como H.264, H.265 (HEVC), VP9, AV1, entre outros. A escolha do codec pode afetar a compatibilidade entre dispositivos e aplicativos, bem como a eficiência da compressão. No caso, dada a natureza desse projeto, veremos aqui apenas aqueles que fazem sentido em um ambiente de transmissão em tempo real.

2.12.1 H.264

O H.264, também conhecido como MPEG-4 Part 10 ou Advanced Video Coding (AVC), é um dos padrões de compressão de vídeo mais amplamente utilizados e eficientes em termos de taxa de bits disponíveis atualmente. Foi desenvolvido pelo ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) e pelo Moving Picture Experts Group (MPEG).

Um dos pontos fundamentais do seu funcionamento, é a divisão de quadros. Isto é, O vídeo é dividido em quadros individuais, que são imagens estáticas em uma sequência de vídeo. Existem três tipos de quadros no H.264:

- Quadros I (Intra): São quadros-chave que não dependem de nenhum quadro anterior. Eles são codificados de forma independente e contêm informações completas da imagem.
- Quadros P (Predictive): São quadros que dependem do quadro I anterior e/ou de outros quadros P. Eles contêm apenas as diferenças entre o quadro atual e os quadros de referência.

- Quadros B (Bi-predictive): Dependem tanto dos quadros anteriores quanto dos futuros. Eles também contêm apenas as diferenças em relação aos quadros de referência.

Para manter a qualidade da imagem, o H.264 opera em um "ciclo de quadros", onde os quadros de referência são periodicamente atualizados. Isso assegura que quadros-chave (I-frames) sejam inseridos regularmente para preservar a qualidade visual durante a transmissão de vídeo. Também utilizam-se várias técnicas avançadas de compressão de vídeo para eficientemente codificar quadros P e B. Uma dessas técnicas é a "predição de movimento", que identifica padrões de movimento nos quadros de referência e registra apenas as diferenças entre o quadro atual e as previsões de movimento dos quadros de referência. Isso economiza espaço de armazenamento e largura de banda, eliminando informações redundantes.

Outra técnica crucial é a "transformada de blocos", onde os blocos de pixels em um quadro são convertidos em coeficientes de frequência por meio da Discrete Cosine Transform (DCT). Essa conversão permite a compactação de informações, e os coeficientes de alta frequência, que contêm menos detalhes visíveis, podem ser quantizados ou eliminados com perda mínima de qualidade. (WANG; KWONG; KOK, 2006)

Em resumo, esse codec é amplamente utilizado em aplicações em tempo real, como videoconferência, streaming ao vivo e videochamadas, devido à sua eficiência de compressão e baixa latência. Ele oferece uma boa qualidade de vídeo com taxas de bits relativamente baixas e é compatível com uma ampla variedade de dispositivos e aplicativos.

2.13 Tecnologias

2.13.1 Containerização com Docker

A containerização emergiu como uma solução inovadora para os desafios associados ao desenvolvimento, implantação e gestão de aplicações de maneira uniforme em diversos ambientes. Diferentemente das máquinas virtuais, que necessitam de um sistema operacional dedicado por instância, os contêineres funcionam de forma isolada, aproveitando o sistema operacional do host, o que impulsiona uma significativa eficiência e minimiza o consumo excessivo de recursos (BURNS, 2018a).

Em essência, o propósito de um contêiner é criar limites para recursos específicos (como uma aplicação que requer dois núcleos e 8 GB de memória), definir a propriedade dentro das equipes (identificando qual equipe é responsável por qual imagem) e promover a separação de preocupações (estipulando que cada imagem cumpre uma função específica). Estes fatores motivam a segmentação de uma aplicação em múltiplos contêineres dentro de uma única máquina (BURNS, 2018b).

Com o advento da tecnologia de contêineres, o Docker se destacou como uma ferramenta primordial desde sua criação como projeto open-source no início de 2013 ([MERKEL, 2014](#)). Ele permite que os desenvolvedores encapsulem aplicações e suas respectivas dependências em contêineres autossuficientes, aptos a operar em qualquer servidor, independentemente das configurações do ambiente host. Esta abordagem tem implicações substanciais para o desenvolvimento ágil, integrando-se perfeitamente com as práticas de Integração Contínua e Entrega Contínua (CI/CD). Em suma, a containerização facilita a replicação, portabilidade e escalabilidade, mitigando as inconsistências entre os ambientes de desenvolvimento, teste e produção, o que resulta em um ciclo de vida do desenvolvimento de software mais integrado e gerenciável.

2.14 Linguagem Go

O Go foi concebido em setembro de 2007 por Robert Griesemer, Rob Pike e Ken Thompson, todos do Google, e foi anunciado em novembro de 2009. Os objetivos da linguagem e suas ferramentas acompanhantes eram ser expressivos, eficientes tanto na compilação quanto na execução e eficazes na escrita de programas confiáveis e robustos.

A linguagem tem uma semelhança superficial com C e, como C, é uma ferramenta para programadores profissionais, alcançando o máximo efeito com meios mínimos. Mas é muito mais do que uma versão atualizada de C. Ele empresta e adapta boas ideias de muitas outras linguagens, enquanto evita características que levaram à complexidade e código não confiável. Suas facilidades para concorrência são novas e eficientes, e sua abordagem para abstração de dados e programação orientada a objetos é flexível. Ele possui gerenciamento automático de memória ou coleta de lixo.

Go é especialmente adequado para construir infraestrutura, como servidores em rede, e ferramentas e sistemas para programadores, mas é verdadeiramente uma linguagem de propósito geral e encontra uso em domínios tão diversos quanto gráficos, aplicativos móveis e aprendizado de máquina. Tornou-se popular como um substituto para linguagens de script não tipadas porque equilibra expressividade com segurança: programas Go geralmente são executados mais rápido do que programas escritos em linguagens dinâmicas e sofrem muito menos falhas devido a erros de tipo inesperados.

Go é um projeto de código aberto, portanto, o código-fonte de seu compilador, bibliotecas e ferramentas está disponível gratuitamente para qualquer pessoa. Contribuições para o projeto vêm de uma comunidade mundial ativa. Go funciona em sistemas semelhantes ao Unix - Linux, FreeBSD, OpenBSD, Mac OS X - e em Plan9 e Microsoft Windows. Programas escritos em um desses ambientes geralmente funcionam sem modificações nos outros. ([DONOVAN; KERNIGHAN, 2015](#))

2.15 openCV

O OpenCV (Open Source Computer Vision Library) é uma biblioteca de software de visão computacional e aprendizado de máquina de código aberto. O OpenCV foi criado para fornecer uma infraestrutura comum para aplicações de visão computacional e para acelerar o uso da percepção de máquina em produtos comerciais. Sendo um produto licenciado sob a Apache 2, o OpenCV facilita que empresas utilizem e modifiquem o código.

A biblioteca possui mais de 2500 algoritmos otimizados, que incluem um conjunto abrangente de algoritmos de visão computacional e aprendizado de máquina clássicos e de ponta. Esses algoritmos podem ser usados para detectar e reconhecer rostos, identificar objetos, classificar ações humanas em vídeos, rastrear movimentos de câmera, rastrear objetos em movimento, extrair modelos 3D de objetos, produzir nuvens de pontos 3D a partir de câmeras estéreo, unir imagens para produzir uma imagem de alta resolução de uma cena inteira, encontrar imagens semelhantes em um banco de dados de imagens, remover olhos vermelhos de fotos tiradas com flash, acompanhar movimentos oculares, reconhecer paisagens e estabelecer marcadores para sobrepor realidade aumentada, etc. O OpenCV possui uma comunidade de mais de 47 mil pessoas e um número estimado de downloads que excede 18 milhões. A biblioteca é amplamente utilizada por empresas, grupos de pesquisa e órgãos governamentais.

Juntamente com empresas bem estabelecidas como Google, Yahoo, Microsoft, Intel, IBM, Sony, Honda, Toyota, que utilizam a biblioteca, existem muitas startups como Applied Minds, VideoSurf e Zeitera que fazem amplo uso do OpenCV. Os usos do OpenCV incluem desde unir imagens do Street View, detectar intrusões em vídeos de vigilância em Israel, monitorar equipamentos de mineração na China, ajudar robôs a navegar e pegar objetos na Willow Garage, detectar acidentes de afogamento em piscinas na Europa, executar arte interativa na Espanha e Nova York, verificar pistas de pouso em busca de detritos na Turquia, inspecionar rótulos em produtos em fábricas ao redor do mundo até detecção rápida de rostos no Japão.

Ele possui interfaces em C++, Python, Java e MATLAB e suporta Windows, Linux, Android e macOS. O OpenCV é principalmente voltado para aplicações de visão em tempo real e aproveita as instruções MMX e SSE quando disponíveis. Interfaces completas para CUDA e OpenCL estão sendo desenvolvidas ativamente no momento. Existem mais de 500 algoritmos e cerca de 10 vezes mais funções que compõem ou suportam esses algoritmos. O OpenCV é escrito nativamente em C++ e possui uma interface com modelos que funciona perfeitamente com contêineres STL. ([ABOUT...](#), Accessed: 2023-11-22)

2.16 Trabalhos Correlatos

Valera e Velastín (2005) apresentam uma revisão generalizada do estado da arte no desenvolvimento de sistemas de vigilância automatizados com a intenção de identificar lacunas que requerem pesquisa aprofundada. Esse contém definições das técnicas comuns da indústria como reconhecimento, detecção e monitoramento de objetos, análise comportamental, e integração com bancos de dados. Em particular, ele conclui que em alguns aspectos pode ser vantajoso dedicar mais atenção ao desenvolvimento de sistemas distribuídos de vigilância no futuro. Isso inclui a distribuição de tarefas de processamento e a criação de padrões de metadados ou novos protocolos para lidar com limitações de banda.

Em Ivanov et al. (1999), os autores demonstram um sistema de vigilância baseado em vídeo para monitorar atividades em um estacionamento à céu aberto, categorizando eventos e interações. A arquitetura desenvolvida consiste em três componentes: um (*tracker*) adaptativo que captura a imagem, um gerador de eventos que mapeia os objetos encontrados em um conjunto de eventos discretos pré-determinados e um (*parser*) estocástico. O sistema então faz a segmentação e rotulagem do vídeo de vigilância para identificar interações entre pessoas e veículos, tais como ingresso e despacho.

Em Neal (2012) o uso de tecnologias de computação em nuvem são analisados para a construção de um sistema de gerenciamento de vigilância. Após comparar e investigar vários (*Software as a Service*) (SaaS), (*Platform as a Service*) (PaaS) e (*Infrastructure as a Service*) (IaaS) percebeu-se que é possível arquitetar um sistema do tipo, porém em larga escala se torna mais caro e requer mais atenção às implicações legais e ameaças de segurança.

3 Método de Desenvolvimento

A metodologia selecionada para o avanço deste projeto se baseia, inicialmente, em um exame das soluções de hardware e software atualmente presentes no mercado. O objetivo é compreender suas características, funcionalidades e deficiências. Esse estudo, de caráter essencialmente qualitativo, procura identificar tendências, padrões e lacunas nas soluções existentes.

Em seguida, serão exploradas as tecnologias e técnicas comumente adotadas na indústria. Essa investigação abrange desde protocolos de transporte até algoritmos sofisticados de compressão e reconhecimento, assim como casos de vulnerabilidades de segurança. O intuito é discernir os padrões de uso e as preferências do setor.

Dentro desse contexto, uma análise focada no SSCS será realizada. Investigaremos se ele propõe uma reinvenção dessas soluções padrão ou se opta por uma integração harmônica com elas. Esta etapa é crucial para entender a proposta de valor e o diferencial que o sistema proposto oferece em relação às alternativas tradicionais.

Posteriormente, adentraremos na esfera econômica, conduzindo uma pesquisa sobre os custos envolvidos. Essa avaliação não se restringirá apenas aos valores de serviços de software ou aquisição de hardware, mas também contemplará os gastos operacionais, sendo estes a execução do SSCS em servidores de terceiros e os custos de manutenção.

3.1 Estado da Arte de Câmeras de Vigilância

Diversas soluções de vigilância estão atualmente disponíveis no mercado, cada uma adotando um conjunto único de padrões e tecnologias. Entre as várias opções, as câmeras CCTV (*Closed-circuit television*) emergem como um sistema tradicional e amplamente empregado. Curiosamente, o conceito de CCTV remonta a 1927, quando o físico russo Léon Theremin desenvolveu o primeiro dispositivo desse tipo, dando origem à primeira geração de sistemas de vigilância (GLINSKY, 2000). Esse sistema consiste em um número de câmeras localizadas em múltiplas posições remotas e conectadas a um conjunto de monitores, geralmente em uma única sala de controle, através de switches (uma matriz de vídeo). Ao contrário de soluções mais modernas que utilizam transmissão via IP, as câmeras CCTV são frequentemente associadas a sistemas de transmissão analógica, embora modelos mais recentes possam incorporar capacidades digitais e transmissão pela web. Atualmente, os modelos mais comuns de câmeras de vigilância para uso comercial já possuem integração direta à internet usando o protocolo IP.

O avanço tecnológico nas câmeras de vigilância levou ao desenvolvimento de sis-

temas semi-automáticos, conhecidos como sistemas de vigilância de segunda geração. A maior parte da pesquisa nesses sistemas é baseada na criação de algoritmos para detecção automática em tempo real de eventos, auxiliando o usuário a reconhecer os eventos.

Seguindo essa mesma tendência tecnológica, chegamos então à terceira geração, que se refere aos sistemas de vigilância concebidos para lidar com um grande número de câmeras, uma dispersão geográfica de recursos, muitos pontos de monitoramento, e para espelhar a natureza hierárquica e distribuída do processo humano de vigilância. Os principais objetivos que se espera de uma aplicação genérica de vigilância visual de terceira geração, baseada nas exigências do usuário final, são fornecer uma boa compreensão da cena, orientada para atrair a atenção do operador humano em tempo real, possivelmente em um ambiente multi-sensorial, informações de vigilância e usando componentes padrões de baixo custo.

3.2 Tecnologias e técnicas comuns

3.2.1 métodos de transmissão

No quesito dos métodos de transmissão multimídia por essas câmeras, temos três métodos principais: *streaming* tradicional, *download* progressivo, e *streaming* adaptativo. Cada um deles tem suas vantagens e desvantagens quanto aos critérios de latência, qualidade, requerimentos de processamento e compatibilidade com outros tipos de software. O *Streaming* tradicional requer um protocolo *stateful* que estabelece uma sessão entre o servidor e o cliente. Nesse último método, a mídia é transmitida como uma corrente constante de pacotes por UDP ou TCP. Como exemplo o Real Time Streaming Protocol (RTSP), baseado no Real-time Transport Protocol (RTP), que é o mais comum para a transmissão de vídeo nas câmeras por IP: a vasta maioria delas o integram como padrão. Já no método do streaming por *download* progressivo, usa-se um servidor HTTP para transferir o vídeo entre o cliente e o servidor, de maneira *stateless*. Os clientes fazem requisições de multimídia, que é enviado progressivamente para um buffer local. Assim que ele tem informação o suficiente, o vídeo começa a tocar. Se a taxa de *playback* excede a taxa de transmissão de dados, então o vídeo é interrompido até que o buffer seja preenchido adequadamente. O *streaming* adaptativo por sua vez, consiste em detectar a largura de banda de rede e capacidade de CPU do cliente para ajustar a qualidade do vídeo transmitido buscando a melhor opção para as condições dadas. Isso requer um *encoder* para prover vídeo em múltiplos *bit rates* diferentes, ou múltiplos *encoders* e pode ser usada uma Content Delivery Network (CDN) para aumentar a escalabilidade. É comum em streaming adaptativo utilizar a técnica de *stream switching*. Esse é um método híbrido que usa HTTP como o protocolo de entrega no lugar de definir um novo protocolo. Os dados de multimídia são segmentados em pequenas partes de mesmo tamanho, codifica-

dos no formato desejado e armazenadas em um servidor. Os clientes então requisitam os segmentos sequencialmente por download progressivo e eles são tocados em ordem já que são contíguos. O resultado é uma experiência de usuário praticamente livre de gargalos de buffering em condições normais de rede e CPU.

3.2.2 algoritmos de reconhecimento de imagem

Existem duas abordagens convencionais principais para detecção de objetos: "diferença temporal" e "subtração de fundo". A primeira abordagem consiste na subtração de dois quadros consecutivos seguida por uma limiarização. A segunda técnica é baseada na subtração de um modelo de fundo ou referência e a imagem atual seguida por um processo de rotulagem. Além destas, existem abordagens baseadas em aprendizado de máquina, como o Haar Cascade, onde classificadores são treinados usando imagens positivas (com objetos) e imagens negativas (sem objetos) para criar uma função que pode ser usada para detectar algo específico em outras imagens. O Haar Cascade é especialmente eficaz para detecção de faces e oferece processamento rápido, sendo uma opção viável para detecção em tempo real. No entanto, pode apresentar desafios em cenas complexas ou com objetos ocluídos. Além disso, há técnicas mais avançadas como Deep Learning, que, através de Redes Neurais Convolucionais (CNNs) e variações como R-CNN, Faster R-CNN, YOLO, e SSD, conseguem alta precisão e robustez na detecção de diversos tipos de objetos em cenários variados, embora exijam um grande volume de dados para treinamento e recursos computacionais consideráveis. Diferentemente das técnicas de subtração de fundo e diferença temporal, que são menos intensivas computacionalmente, as técnicas de aprendizado de máquina e aprendizado profundo podem requerer mais recursos e um conjunto de treinamento de dados, mas oferecem maior precisão e capacidade de generalização, tornando-se preferíveis em aplicações mais complexas ou quando a alta precisão é crucial.

3.2.3 armazenamento, resolução e compressão

Uma das funções fundamentais presente em quase todos os sistemas de vigilância é o armazenamento do vídeo e sua leitura posterior. A maneira de como é feita esse armazenamento depende de vários fatores: volume de dados, período de retenção, velocidade de acesso, largura de banda (se houver interação com sistemas pela rede), escalabilidade, segurança, conformidade legal e outros. Em especial, a resolução da câmera tem uma forte relação com o volume de dados que por sua vez afeta muitos dos outros fatores também. A tabela a seguir detalha o espaço de armazenamento necessário, em Terabytes, para arquivar 30 dias de filmagem, capturada em diferentes resoluções de 12 câmeras, operando continuamente durante 24 horas por dia.

Resolução	MJPEG	H.264	H.265
1MP (1280x720)	27,5 TB	3,97 TB	1,34 TB
2MP (1920x1080)	61 TB	8,9 TB	3,0 TB
3MP (2048x1536)	93 TB	13 TB	4 TB
5MP (2592x1904)	150 TB	21,74 TB	7,37 TB
8MP (4K)	464,38 TB	67,10 TB	22,76 TB

Tabela 1 – Tabela comparativa de resoluções e compressão versus tamanho, baseada em dados obtidos do Surveillance Capacity Calculator ([DIGITAL, 2023](#)).

Essas resoluções na tabela são as mais comuns encontradas nas câmeras disponíveis no mercado para uso domiciliar e empresarial. As resoluções são medidas em megapixels (MP) e indicam o total de pixels existentes na imagem. Quanto mais pixels, maior a resolução e melhor a qualidade, porém, como é possível perceber pela tabela, mais espaço é necessário para armazenar o vídeo.

A resolução adequada depende de qual vai ser o uso dessas câmeras. A resolução de 1 MP é uma boa escolha para domicílios, pequenas lojas e outros locais onde só é preciso detectar movimento de pessoas sem muito detalhes. Full HD (2 MP) já é capaz de fazer reconhecimento facial ou de texto, tornando-se uma opção adequada para locais que requerem um nível de detalhe intermediário. Para a monitoração de espaços amplos, resoluções de 4 MP e 5 MP são recomendadas, sendo que a última oferece uma qualidade superior na ampliação de imagens, com uma menor perda de detalhes. 4K é uma resolução comum em ambientes que exigem identificação precisa, como instituições financeiras no geral, cassinos e áreas de infraestrutura crítica como usinas de energia e estações de tratamento.

Repare que além da resolução o tipo de compressão pode afetar drasticamente o tamanho. MJPEG, por ser um formato antigo usado pela primeira em meados de 1990, é bem menos eficiente mas amplamente adotado. H.264, também conhecido como AVC, é bem mais eficiente e não deixa de ser comum para compressão de vídeos em HD. Por último, o H.265, ou HEVC, é um dos métodos mais eficientes mas nem sempre suportado pelos equipamentos de NVR e DVR. Até mesmo alguns protocolos de transmissão de vídeo em rede como o WebRTC e RTMP não possuem suporte esse padrão.

3.2.4 vulnerabilidades de segurança

Em relação aos riscos de segurança, as câmeras IP apresentam várias vulnerabilidades que podem expô-las a ameaças. Uma das falhas mais comuns é a utilização de credenciais de login padrão, que são facilmente acessíveis para qualquer pessoa com conhecimento básico em segurança de rede. Além disso, políticas de autenticação fracas frequentemente permitem a seleção de senhas simples e fáceis de adivinhar. A criptografia inadequada de informações confidenciais é outro ponto de preocupação, pois muitas vezes

os dados são transmitidos sem qualquer processo de criptografia, tornando-os suscetíveis a interceptações e ataques. Como exemplo dessas falhas, em [Abdalla e Varol \(2020\)](#) uma câmera smart identifica como Onvif YY HD passou por um teste de penetração. Nesse teste, um ataque do tipo man in the middle (MITM) foi capaz de visualizar em texto plano todos os dados transmitidos pela câmera, inclusive credenciais.

O local onde o vídeo é armazenado e seu acesso também podem ser vetores para ataques. Se o VMS utilizar armazenamento em nuvem, por exemplo, como a conexão em rede é necessária praticamente o tempo todo existe a chance de ocorrer um Denial Of Service (DoS). Por outro lado, sistemas que operam isoladamente da internet, utilizando DVR ou NVR em redes locais, embora menos suscetíveis a DoS, ainda requerem uma gestão do acesso por parte de usuários e do controle dos recursos. Portanto, mecanismos de controle de acesso técnicos, físicos e administrativos precisam ser implementados e documentados independente da escolha armazenamento, como forma de mitigar vulnerabilidades.

3.2.5 custos de operação

O custo total do SSCS é composto por dois elementos principais: o investimento inicial na aquisição das câmeras e a opção de hospedagem do serviço. Para a hospedagem, existem duas alternativas: o aluguel de um servidor na nuvem, ou a aquisição de hardware que funcione como servidor, tais como uma Next Unit of Computing (NUC) ou um Single board computers (SBC). Foram desconsiderados custos com rede e armazenamento externo, porque assume-se que a largura de banda já existente será suficiente e que o armazenamento é barato o suficiente ou já estava disponível.

O investimento inicial em câmeras IP varia de acordo com o tipo e as especificações necessárias para cada aplicação. No caso do SSCS, não precisamos de câmeras com funcionalidades de reconhecimento ou armazenamento embutidas, e todas precisam pelo menos suportar algum protocolo para transmissão em rede como RTSP. Abaixo estão alguns dos tipos mais comuns de câmeras IP disponíveis no mercado seguindo essas necessidades, juntamente com seus preços aproximados em fevereiro de 2024:

- Câmera IP Bullet: caracterizadas por seu formato alongado, são de fácil instalação, normalmente instaladas no exterior e resistentes às condições do ambiente.

Modelo	Faixa de preço	Resolução
Intelbras iM5+ Full Color	R\$ 500-550	2MP
Intelbras IM5 SC	R\$ 400-425	2MP
Ezviz C3N	R\$ 350-400	2MP

- Câmera IP Dome: de design discreto, são mais utilizadas em ambientes internos, como escritórios e lojas.

Modelo	Faixa de preço	Resolução
Ds-2cd1143g1e-i Hikvision	R\$ 650-700	4MP
Ezviz C8w Pro	R\$ 460-500	3MP
Im7 Full Color Intelbras	R\$ 530-600	2MP

Algumas câmeras dessas ainda possuem ferramentas adicionais como visão noturna, saídas e entradas de áudio e zoom digital. Elas continuam sendo viáveis pois não acrescentam substancialmente ao preço e essas funções podem ser aproveitadas no SSCS. Tendo o acervo de câmeras escolhido e adquirido, sobra escolher como processar e armazenar as imagens. Para uma solução local, recomenda-se os seguintes equipamentos:

Modelo	Faixa de preço
Raspberry Pi 4	R\$ 150-840
Odroid N2+	R\$ 800-1400
Intel NUC	R\$ 810-400

O Raspberry Pi 4 contém o processador ARM1176JZFS e a GPU Videocore 4. Essa GPU é capaz de reprodução de qualidade BluRay, usando H.264 a 40MBits/s. Essas características tornam o dispositivo perfeitamente capaz de transmitir e processar o vídeo recebido das câmeras, além de executar reconhecimento de imagem. A desvantagem é que não há entradas SATA para esse modelo, apenas USB, então pode haver um gargalo ao executar as tarefas de armazenamento e transmissão.

O Odroid N2+ tem uma CPU baseada na arquitetura big.Little, que integra um cluster de CPU ARM Cortex-A73 de quatro núcleos e um cluster Cortex-A53 de dois núcleos com uma GPU Mali-G52. Assim como o Raspberry pi 4, esse SBC não tem entradas para SATA. Porém, O Odroid-HC4 tem uma configuração similar e entradas SATA. Ele poderia ser usado para evitar os gargalos citados anteriormente.

Os Intel NUC podem ser alternativas bem interessantes também. Apesar de serem potencialmente mais caros e variarem muito em capacidade hardware, eles possuem no geral mais oportunidades de customização e atualização. Por serem construídos na arquitetura x86/x64 é possível que algumas aplicações funcionem melhor ou sem erros inesperados. A maioria deles tem suporte para SATA. Em particular, o modelo NUC5i5RYH possui todos os requisitos para ser capaz de gerenciar várias câmeras.

Por último, ainda há a alternativa de utilizar servidores alugados remotamente: como as câmeras podem transmitir a imagem por IP, servidores remotos em provedores como AWS, Google Cloud, Azure, DigitalOcean e similares podem ser usados para todas as funções. Entretanto, deve-se considerar que esses servidores possuem custo por hora e que alugar GPUs traz um acréscimo considerável no preço. Nesse sentido, qualquer máquina desses provedores com ao menos 2 vCPUs e 2 GB de RAM é suficiente para

um sistema com uma câmera. Na tabela abaixo, uma comparação da estimativa do custo mensal para o aluguel de máquinas com essas características em instâncias dedicadas em regiões dos Estados Unidos.

Provedor	Nome da instância	Custo mensal
AWS	c7g.medium	USD\$ 28.31
AWS	c6g.medium	USD\$ 26.28
Google Cloud	N1	USD\$ 54.95
Azure	D2ads v5	USD\$ 75.19
DigitalOcean	Droplet Regular CPU	USD\$ 63.00

Todos esses provedores possuem planos de economia para contratos de longo prazo, reduzindo entre 30% e 50% desses custos mensais.

Vale ressaltar que apesar dos custos de armazenamento estarem desconsiderados nessas estimativas, eles não podem ser subestimados para os servidores em nuvem. Se essa abordagem for escolhida, é possível optar por armazenamento object-based como o S3, Azure Blob Storage, ou Google Storage bucket.

4 Desenvolvimento

Nesta seção, apresentaremos uma descrição detalhada do processo de construção do SSCS. O sistema foi projetado com uma arquitetura modular, composta por componentes independentes, o que justifica a escolha de representá-los por meio de diagramas de componentes do UML. Os componentes são definidos por um conjunto de métodos essenciais que admitem várias implementações, adaptáveis às demandas do usuário. Contudo, é importante que essas implementações obedeçam a certos padrões para garantir que o sistema opere de forma coesa e integrada.

4.1 Ambiente de desenvolvimento

Para possibilitar testes e criar um ambiente de desenvolvimento que reproduza fielmente as condições em que o sistema operará quando implantado em um ambiente de produção, faz sentido criar uma forma de simular um fluxo de vídeo. É importante esclarecer que, ao mencionar o "sistema em produção", está sendo feita uma referência à aplicação prática do software em contextos comerciais, residenciais ou outras situações reais onde a vigilância é utilizada para fins de segurança e monitoramento.

Para criar esse ambiente de simulação, utilizamos o MediaMTX ([ROS, 2023](#)), um servidor de mídia em tempo real de código aberto. O MediaMTX facilita a publicação, leitura, gravação e roteamento de fluxos de vídeo. Embora tenha sido originalmente projetado como um roteador de mídia de ponta a ponta, ele oferece uma plataforma robusta que permite ao SSCS acessar e consumir fluxos de vídeo. No entanto, para tornar o servidor operacional, é necessário publicar a mídia nele.

De acordo com a documentação do MediaMTX, uma das abordagens recomendadas para isso é o uso do ffmpeg, um framework de multimídia que oferece funcionalidades como codificação, decodificação, transcodificação, muxing, demuxing, streaming e reprodução de dados de mídia. Utilizando o ffmpeg ([BELLARD, 2023](#)), é possível enviar fluxos de vídeo para o servidor MediaMTX, criando assim um ambiente adequado para a integração e operação eficiente com o SSCS. Observe também que essas duas ferramentas são plenamente capazes de lidar não apenas com ambientes de simulação, mas também com ambientes de produção. A intensificação aqui é minimizar a diferença entre esses dois cenários, facilitando a transição futura de uma simulação para a prática.

A implementação da tecnologia de contêineres, especialmente por meio do Docker, surge como uma estratégia crucial para reforçar a eficiência e a confiabilidade do ambiente de desenvolvimento e testes. A "dockerização" do ambiente, que inclui tanto o

MediaMTX quanto o ffmpeg, contribui significativamente para a criação de um sistema mais robusto e controlado. Isso ocorre porque, com o Docker, é possível encapsular o software e suas dependências em um contêiner isolado, o que evita os tradicionais problemas de incompatibilidade ou conflitos com os sistemas onde eles são implantados. Esse nível de isolamento promove a consistência entre os ambientes de desenvolvimento, teste e produção, minimizando assim as discrepâncias que geralmente surgem quando se transita entre diferentes plataformas e infraestruturas. Além disso, o Docker facilita a automação e a replicação de contêineres, o que acelera significativamente o ciclo de desenvolvimento, permitindo que os desenvolvedores se concentrem mais na lógica de aplicação do que em questões operacionais. Em um cenário onde a agilidade, a escalabilidade e a estabilidade são indispensáveis, a utilização do Docker não apenas otimiza o uso dos recursos e melhora o desempenho, mas também simplifica o processo de integração e entrega contínua (CI/CD), fundamentais para a evolução consistente do SSCS. A seguir, está um dos métodos, utilizando-se essa ferramenta com o terminal, para replicar localmente os sistemas externos básicos dos quais o SSCS depende.

```
1  docker build -t sscs-mtx ./dev
2
3  docker run -d --rm --network=host -p 8554:8554 -p 8889:8889 \
4  -v ./dev/mediamtx.yml --name sscs-mtx sscs-mtx
5
6  docker run -d --rm --network=host -p 5432:5432 \
7  -e POSTGRES_PASSWORD=gorm -e POSTGRES_USER=gorm \
8  -e POSTGRES_DB=gorm --name sscs-postgres postgres
```

Esse script realiza as seguintes ações: primeiro constrói uma imagem Docker chamada **sscs-mtx** a partir de um Dockerfile no diretório `./dev`. Esse arquivo tem como base uma imagem do **mediamtx** e responsável por encapsular as amostras de mídia. Depois, ele cria e inicializa um contêiner a partir dessa imagem, mapeia portas de rede e monta o arquivo de configuração **mediamtx.yml** dentro do contêiner. A intenção nesse caso é recriar um servidor de mídia localmente que contenha alguns vídeos para testes que podem ser consumidos pelo SSCS.

Em seguida, ele cria e inicia outro contêiner usando a imagem oficial do PostgreSQL, configurando-o com variáveis de ambiente e mapeando a porta 5432. Ambos os contêineres usam a rede do host para comunicação.

No diretório `/sscs/dev`, presente no repositório de código do projeto, encontram-se todos os arquivos requeridos para a construção do contêiner que compõe o servidor intermediário, configurando, assim, um ambiente de desenvolvimento plenamente operacional.

Adicionalmente, um arquivo **Makefile**, localizado em **/sscs/**, facilita este processo, por meio de um comando que automatiza a montagem desse ambiente. Vale ressaltar que os testes automatizados utilizam um contêiner similar, porém este inclui um executável do SSCS, garantindo que as funcionalidades sejam testadas num contexto que replica fielmente o ambiente de produção.

Por alto nível, o sistema assume uma configuração que envolve a comunicação entre dois componentes: um encarregado da transferência das imagens da câmera para um servidor intermediário e outro, o servidor intermediário, que cria uma corrente de multimídia destinada ao SSCS.

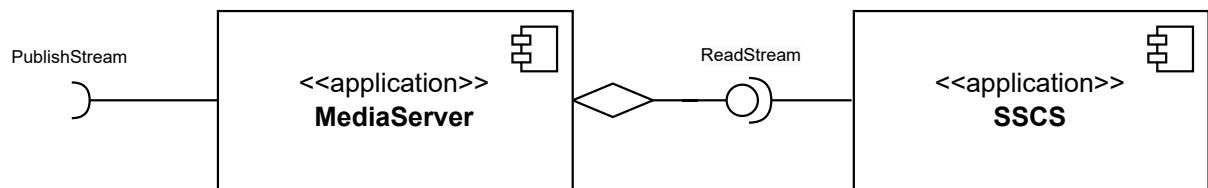


Figura 6 – Arquitetura de transmissão, múltiplas fontes para um servidor de mídia

A imagem mostra a configuração básica do SSCS, onde câmeras ou outras fontes de transmissão de multimídia podem encaminhar fluxos para um servidor intermediário. Esse servidor de mídia intermediário disponibiliza uma interface chamada **PublishStream**, que possibilita a recepção de fluxos de multimídia de diversas origens distintas. O símbolo em forma de losango indica que o **MediaServer** age como um agregador, o que significa que ele pode interagir simultaneamente com várias aplicações do SSCS. Contudo, é importante observar que essa conexão é de natureza flexível: o **MediaServer** pode operar de forma independente, sem depender do SSCS.

Os servidores intermediários desempenham o papel de proxies para o servidor que opera o SSCS. A utilização de um servidor de mídia como proxy apresenta diversas vantagens. Por exemplo, pode ser necessário converter o protocolo de transmissão de RTSP para WebRTC ou HLS, realizar balanceamento de carga, ou até mesmo implementar autenticação externa.

À seguir, será apresentada uma visão geral de cada componente do sistema, sua função, como ele interage com as outras partes do sistema e detalhes de implementação. Note que cada componente é abstrato. Ou seja, é uma base que deve ser adaptada de acordo com os protocolos, formato de imagem, banco de dados e outros detalhes específicos de implementação. Em cada seção, há também exemplos de implementações acrescentando os detalhes.

4.2 Gerenciador de Configuração

O Gerenciador de Configuração atua na administração de variáveis de ambiente, essenciais para distinguir entre diferentes contextos operacionais, como desenvolvimento, teste e produção. Utilizando arquivos `.yaml` para definir estas variáveis, o sistema ganha em flexibilidade e segurança, pois permite a personalização do comportamento da aplicação sem alterações diretas no código-fonte. Assim, parâmetros sensíveis podem ser injetados no ambiente de execução, escondendo informações críticas e facilitando a adaptação do sistema a mudanças de requisitos ou infraestrutura.

Essa função do software, embora não constitua um componente por si só, serve como um recurso reutilizável que pode ser importado por diferentes partes do sistema. Sua implementação é bem sucinta, como mostra o código à seguir. Nele, o método `findConfig()` procura o arquivo `sscs.yml` em algumas localizações comuns diferentes e devolve a primeira que encontrar.

```
1 func ReadConf() (Config, error) {  
2     cfg, err := findConfig()  
3     return cfg, err  
4 }
```

4.3 Gravador

Esse é o componente principal do sistema. Sua função básica consiste em receber pacotes da corrente de vídeo por meio de algum protocolo de rede, concatená-los e codificá-los em um arquivo único, com subsequente armazenamento no disco ou nuvem em segmentos de arquivos. Estes arquivos são registrados com uma timestamp, refletindo o instante de criação do arquivo de gravação.

Assim como a maioria dos outros componentes desse sistema, o gravador precisa implementar todas as funções de uma interface padrão, à seguir. Os métodos `Start()`, `Stop()` e `setupLogger()` fazem parte de qualquer componente. Os dois primeiros são evidentemente usados para iniciar e parar o serviço. O método `setupLoogger()` por sua vez cria um padrão de logs customizado para aquele componente. Isso facilita a depuração de problemas e performance. Os últimos dois ficam á critério da implementação.

```
1 type Recorder interface {  
2     Start() error  
3     Stop() error  
4     setupLogger()
```

```
5      record() error
6      sendFrame(image.Image) error
7  }
8
9  type EventChannels struct {
10      RecordOut chan<- RecordedEvent
11      FrameOut  chan<- image.Image
12  }
13
14  type Config struct {
15      rtspFeed string
16  }
```

No contexto do desenvolvimento em Go, o método `record` implementado pelo componente `Recorder` é privado, o que significa que sua acessibilidade se restringe ao pacote onde foi declarado. Esse método realiza o consumo de uma corrente de dados exposta por um servidor de mídia. Na prática, uma entidade do tipo `MediaServer` fornece uma interface para que o `Recorder` desempenhe suas operações. A gravação também não é exclusiva a um protocolo específico: qualquer sistema que tenha a capacidade de transmitir mídia utilizando os protocolos RTSP, WebRTC ou SRT pode ser integrado também, assumindo que o componente de gravador dê suporte.

Para comunicar aos outros componentes que um segmento foi gravado no armazenamento, utiliza-se a interface provida `RecordedEvent`, que encapsula informações como o tempo de início e término da gravação. Esta estrutura compartilhada é transmitida através do canal com buffer `RecordOut`, permitindo assim que o gravador continue seu processo sem aguardar a finalização do indexador para cada evento de gravação. Em contraste, se um canal sem buffer fosse utilizado, o gravador necessitaria esperar pela conclusão da indexação de cada evento antes de iniciar a gravação subsequente, resultando em uma sincronização mais rígida e potencialmente uma latência maior no sistema, o que seria menos vantajoso em questões de performance. O canal `FrameOut`, por sua vez, recebe quadros individuais. Isso é útil para os componentes reconhecedores de imagem que podem processar esses quadros.

O método `sendFrame` é usado para alocar quadros no canal `FrameOut`. Em relação a comunicação com outros componentes, seu funcionamento é semelhante ao da interface anterior, utilizando também um canal com buffer. A diferença está apenas no tamanho do buffer do canal. A responsabilidade dessa função é pegar quadros recebidos pelo gravador e enviá-los para a leitura por detectores de imagem.

Esse componente aceita como configuração uma URL de um servidor de mídia que

utiliza o protocolo RTSP para transmissão de dados de mídia.

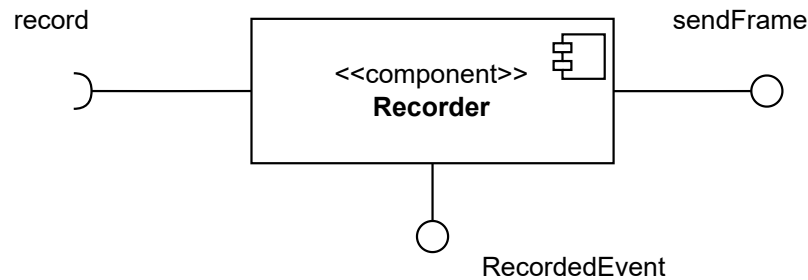


Figura 7 – Diagrama isolado do gravador

4.3.1 Implementação de gravador com RTSP e compressão H.264

Considerando a prevalência do protocolo RTSP e do codec de compressão H.264 no universo das câmeras IP, é fundamental que o SSCS empregue essas tecnologias em seu gravador. Essa implementação utiliza um cliente RTSP, um multiplexador para converter quadros H.264 em um arquivo MPEG-TS e um decodificador para extrair quadros de vídeo.

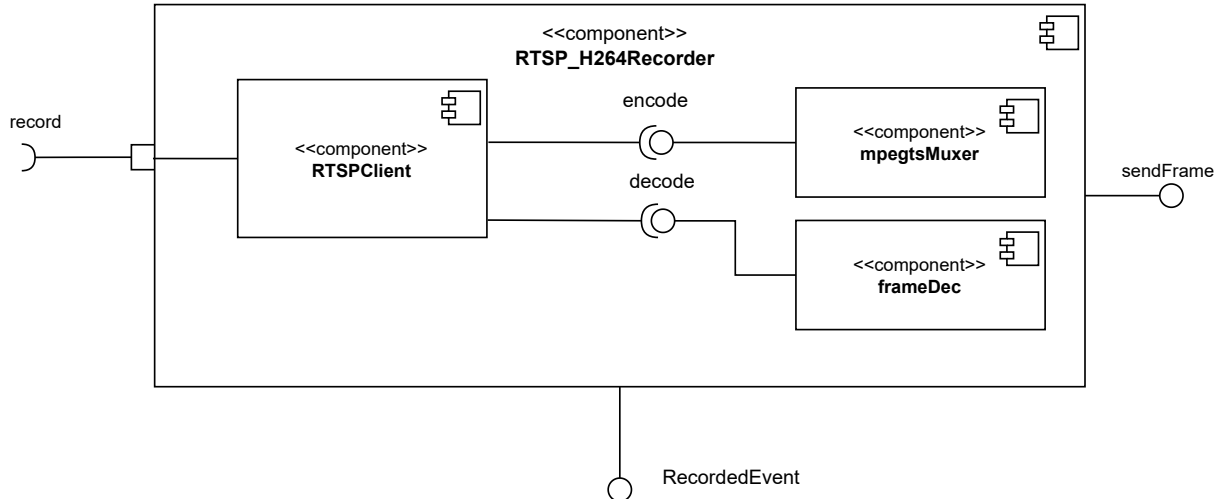


Figura 8 – Diagrama isolado do gravador RTSP

O cliente RTSP primeiro emite um requisição do tipo DESCRIBE ao servidor de mídia, que por sua vez responde com a descrição dos dados da sessão, de acordo com o protocolo SDP. Essa descrição contém as informações necessárias para iniciar o streaming.

Em seguida, o cliente processa cada pacote RTP recebido e extrai as Access Unities (AUs). Essas, são formadas por um conjunto de unidades de Network Abstraction Layer (NAL) sempre contendo uma imagem codificada primária, tipicamente um quadro

do tipo I. Além da imagem codificada primária, uma AU também pode conter uma ou mais imagens codificadas redundantes ou outras unidades NAL que não contenham fatias ou partições de dados de fatias de uma imagem codificada. A decodificação de uma AU sempre resulta em uma imagem decodificada. Por isso, as AUs são passadas para o multiplexador que codifica elas e organiza as unidades NAL para formar um único segmento de vídeo e salvá-lo no disco.

O decodificador que extrai quadros de vídeo faz isso iterando as unidades NAL até encontrar um Quadro I, que contém uma imagem completa. Quando encontrado, ele usa o método `sendFrame()` para comunicar a imagem à um canal com buffer. A intenção nisso é facilitar a comunicação com a parte do software que realiza o reconhecimento de imagem em tempo real.

Por último, uma canal que recebe exclusivamente interface `RecordedEvent` será alimentado toda vez que uma gravação for concluída, contendo o nome do vídeo e uma timestamp do fim da gravação. Isso pode ser usado para comunicar o registro de cada arquivo à outros componente do sistema.

4.4 Indexador

O indexador é responsável por fazer referências aos vídeos em um banco de dados e salvar eventos de reconhecimento de imagem. Posteriormente, exploraremos como o indexador interage com uma API que simplifica e expande o processo de busca e recuperação de gravações. É importante salientar também que a implementação do indexador não se torna mandatória, a menos que corresponda a uma necessidade específica do usuário.

A interface do indexador é bem mais simplificada. Ele requer apenas um método privado, chamado `listen()`. A única função desse método é esperar por eventos de indexação enviados pelos canais de outros componentes e encaminhá-los para as funções que lidam o registro da informação no banco de dados.

```
1 type Indexer interface {  
2     Start() error  
3     Stop() error  
4     setupLogger()  
5     listen() error  
6 }
```

No diagrama à seguir, mostra-se que o indexador não provê nenhuma interface, ele apenas requer algumas. Isso porque ele lida exclusivamente com a escrita das informações que recebe por meio dos eventos recebidos por meio dos canais. Um detalhe pertinente

é o fato do indexador ser agnóstico quanto ao banco de dados usado. Do ponto de vista da arquitetura, o banco de dados é uma não-entidade. É um detalhe que não se eleva ao nível de um elemento arquitetônico. Ele é uma utilidade que provê acesso aos dados. No mesmo ponto de vista, essa utilidade é irrelevante pois é um detalhe de baixo nível, ou seja, um mecanismo. (MARTIN, 2018b)

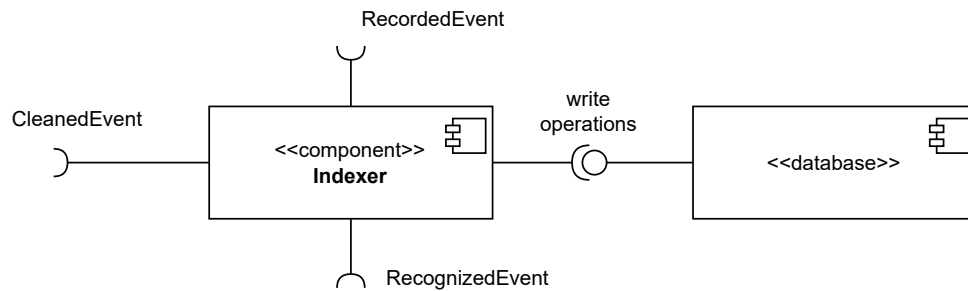


Figura 9 – Diagrama isolado do indexador

4.4.1 Implementação do indexador com PostgreSQL

Bancos de dados relacionais são normalmente utilizados para indexação de dados, e nesta implementação optou-se pelo PostgreSQL. A interação com o banco é simplificada através do ORM GORM (JINZHU, 2023), que abstrai os eventos para persistência nas tabelas e facilita migrações automáticas. Essas migrações sincronizam a estrutura do banco com os modelos Go, agilizando o desenvolvimento ao dispensar scripts SQL. No entanto, em ambientes de produção, recomenda-se desativar as migrações automáticas para evitar alterações não testadas.

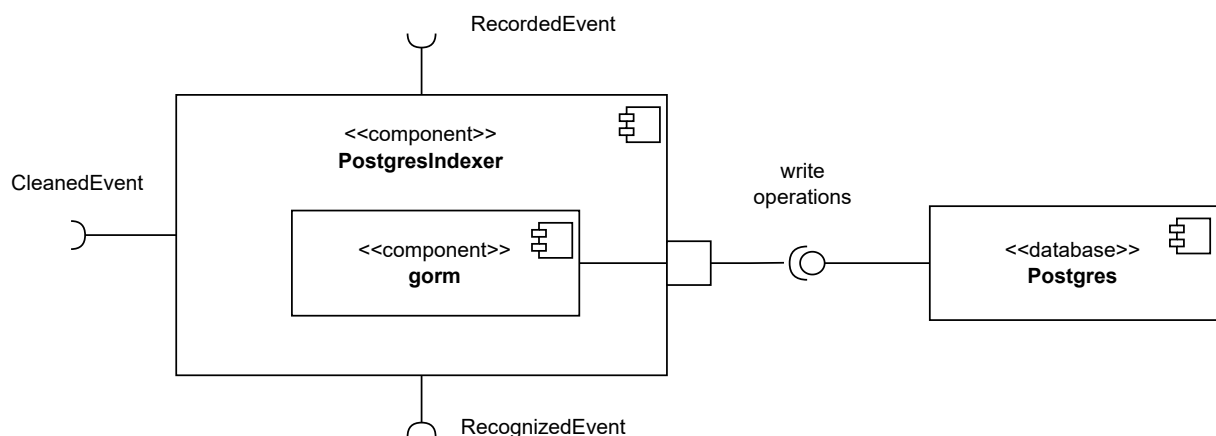


Figura 10 – Diagrama isolado da implementação do indexador com PostgreSQL

4.5 Reconhecedor

Esse componente tem como responsabilidade analisar as correntes de vídeo recebidas e identificar padrões ou objetos específicos. Após a captura dos pacotes de vídeo através de um protocolo de rede pelo gravador, o reconhecedor processa cada quadro individualmente, aplicando modelos de inteligência artificial ou aprendizado de máquina.

A informação adquirida pelo reconhecedor pode ser utilizada para diversas finalidades, como análise comportamental, detecção de intrusos, reconhecimento facial, entre outros. A saída processada normalmente inclui metadados associados a cada imagem reconhecida, tais como categoria do evento reconhecido, timestamp e enquadramento da figura reconhecida.

```
1 type Recognizer interface {
2     Start() error
3     Stop() error
4     setupLogger()
5     view() error
6 }
7
8 type EventChannels struct {
9     FrameIn <-chan image.Image
10    FrameOut chan<- image.Image
11    RecogOut chan<- RecognizedEvent
12 }
13
14
15 type Config struct {
16     ThumbsDir string
17 }
18
19 type RecognizedEvent struct {
20     name      string
21     timestamp int
22 }
```

Assim como o indexador, essa interface é simplificada. Há apenas um método privado, o `view`, que lida com o processamento de cada imagem. As imagens são consumidas em um canal que pode ser alimentado por outros componentes como o gravador. Nos canais desse componente, tem-se o `FrameIn` que retorna todos os quadros inseridos pelo

gravador e o `RecogOut` que devolve eventos de reconhecimento. O canal `FrameOut` é opcional, porque a responsabilidade dele é redirecionar imagens processadas para outras reconhecedores e nem sempre isso é um requisito. Mas é uma possibilidade quando há um problema de reconhecimento mais complexo que pode ser realizado em etapas.

O reconhecedor também pode ser configurado quanto ao diretório de thumbnails. Nesse diretório, são salvas as imagens contornadas que demonstram o que foi detectado pelos algoritmos de visão computacional.

Por alto nível, o componente reconhecedor se assemelha com o diagrama seguinte, onde ele provê a interface que emite eventos de reconhecimento e necessita a integração de uma interface para ler quadros.

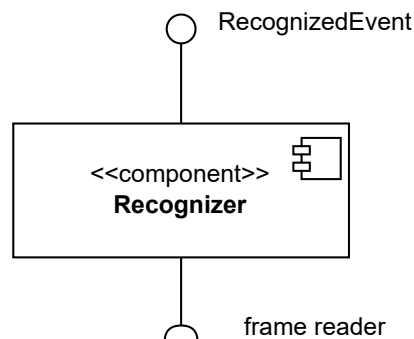


Figura 11 – Diagrama isolado da implementação do reconhecedor de imagens

4.5.1 Implementação de reconhecedor de movimento

Essa implementação utiliza o algoritmo de segmentação de fundo baseado em mistura gaussiana da biblioteca OpenCV, definido na classe `BackgroundSubtractorMOG2`. Como o projeto está codificado na linguagem Go, foi usado o pacote `gocv`, que encapsula o OpenCV para facilitar a interação (GROUP; FRIENDS, 2023).

De maneira resumida, para cada quadro lido do canal `FrameIn`, computa-se a diferença do plano de fundo para o primeiro plano usando o algoritmo citado anteriormente. Feito isso, ocorre uma limpeza utilizando a técnica de limiarização (thresholding) na imagem resultante da diferenciação. O resultado disso é uma imagem binária, onde todos os pixels acima de um valor de limiar são definidos para um valor máximo e todos os outros para zero. Em seguida, ocorre a dilatação, que expande as áreas brancas (também chamadas de áreas de movimento) da imagem conectando regiões próximas e preenchendo lacunas, o que simplifica a próxima etapa, que é inserção de contornos.

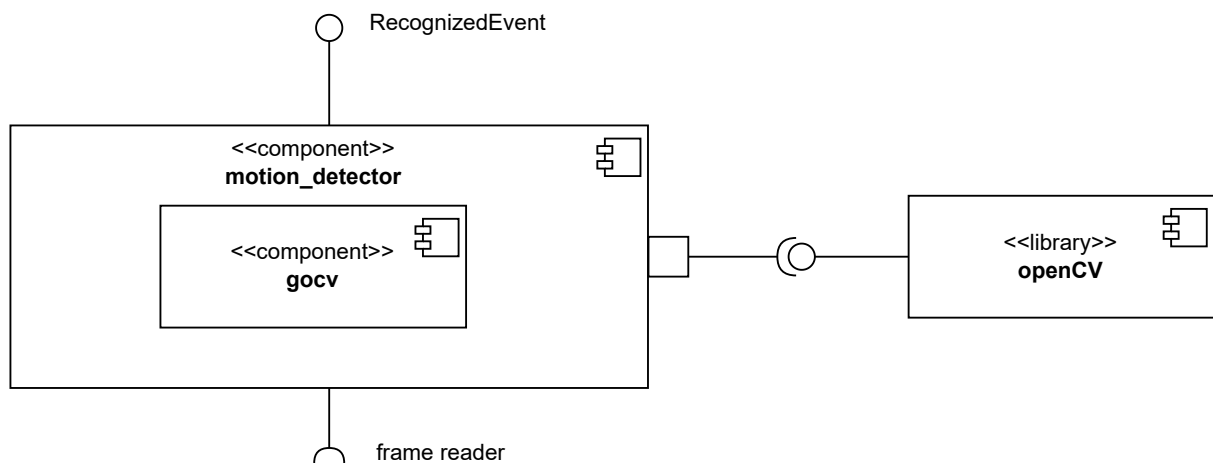


Figura 12 – Diagrama da implementação do reconhecedor de movimento

4.6 Implementação do detector usando cascata Haar

Essa implementação utiliza o classificador em cascata `CascadeClassifier` também da biblioteca OpenCV, nas mesmas condições que a implementação anterior. A diferença principal está no arquivo de cascata Haar que precisa ser gerado previamente, específico para o objeto a ser detectado.

Resumidamente, antes mesmo de receber quadros o processo se inicia com a importação do arquivo de cascata Haar. Em seguida, para cada quadro o classificador aplica-se um detector em várias escalas de tamanho de imagem. Isso significa que o algoritmo pode detectar objetos de diferentes tamanhos, o que é útil para câmeras de segurança já que o tamanho do objeto varia dependendo da distância.

4.7 Gerenciador de armazenamento

As câmeras de segurança geralmente operam em vigilância contínua, o que significa que elas podem produzir uma quantidade significativa de dados de mídia. Dado que o espaço de armazenamento é um recurso custeado e limitado, seja em dispositivos locais ou em soluções baseadas em nuvem, é crucial implementar estratégias eficazes de gerenciamento de armazenamento.

Nesse sentido, foi criado o componente **Storer**. Sua função é justamente monitorar o armazenamento em períodos de tempo, apagando ou movendo os arquivos mais antigos para que um limite do armazenamento primário não seja excedido. Ao deletar ou mover para o armazenamento secundário, ele também provê o evento `CleanedEvent`, por meio

de um canal `CleanOut`, que descreve os arquivos e a ação para que componentes como o indexador possam deletar as referências aos arquivos.

```

1  type Storer interface {
2      Start() error
3      Stop() error
4      setupLogger()
5      monitor() error
6      OpenFiles(filenamees []string) ([]*os.File, error)
7  }
8
9  type EventChannels struct {
10      CleanOut chan<- CleanedEvent
11  }
12
13  type Config struct {
14      sizeLimit    int
15      checkPeriod int
16      folderPath  string
17      backupPath  string
18  }
19
20  type FileStatus int
21
22  const (
23      FileUnchanged FileStatus = iota
24      FileMoved
25      FileErased
26  )
27
28  type CleanedEvent struct {
29      filename  string
30      fileSize  int
31      fileStatus FileStatus
32  }

```

Por meio dos método `monitor` demonstrado na interface acima, é ativada a rotina periódica do `Storer` descrita no parágrafo anterior. Além desse método e dos outros métodos padrões de componente, há o método `OpenFiles` que lida com a busca e abertura

dos arquivos por meio de seus nomes. Isso é útil para outros componentes ou aplicações que precisem filtrar arquivos de mídia específicos.

Existem quatro configurações disponíveis para o **Storer**. um inteiro que representa o limite do tamanho do diretório em bytes, **sizeLimit**. Um outro inteiro que representa o período de checagem do tamanho do armazenamento em segundos, **checkPeriod**. Por último, duas strings que representam respectivamente os diretórios de armazenamento primário e backup, **folderPath** e **backupPath**.

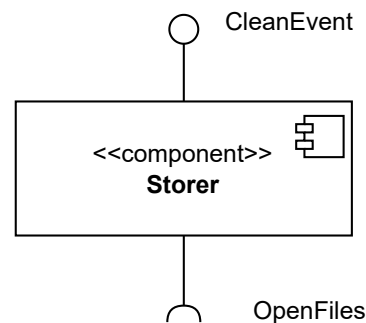


Figura 13 – Diagrama isolado da implementação do gerenciador de armazenamento

4.7.1 Implementação de gerenciador de armazenamento sobre espaço em disco

Nesta implementação, são usados comandos do sistema operacional para mover ou deletar os arquivos. Checa-se primeiro o espaço acumulado de todos os arquivos do diretório primário escolhido para armazenamento das gravações. Em seguida, eles são ordenados por data de criação e os mais antigos podem ser movidos ou apagados, dependendo de como o componente foi configurado.

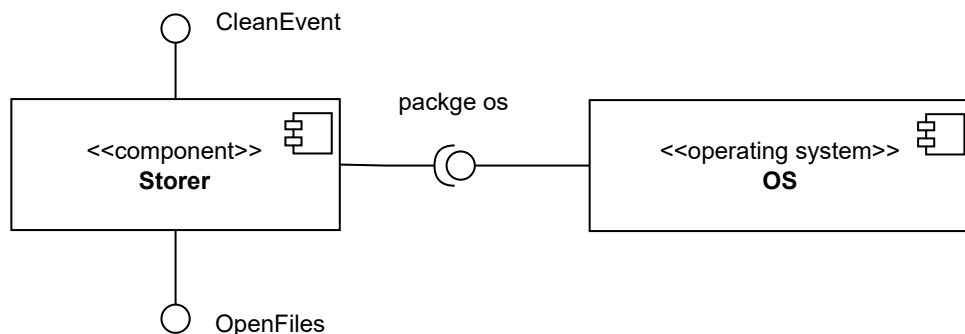


Figura 14 – Diagrama da implementação do gerenciador de armazenamento usando o disco como fonte de armazenamento e o sistema operacional para interagir com ele

4.8 HTTP RESTful API

Os vídeos, eventos e imagens geradas pelos componentes do SSCS precisam de algum forma serem servidos para os usuários finais. Nisso, uma API HTTP pode ser consumida em uma grande variedade de clientes diferentes: front-ends Web, CLIs, aplicativos móveis e desktop. Vale ressaltar que apesar dessa API ser um componente também, ela funciona como uma aplicação paralela ao SSCS. Ou seja, não precisa estar acoplada com nenhum dos outros componentes para funcionar sem erros, embora precise importar algumas estruturas do indexador.

Nesse sentido, A função da API é fazer a ponte entre as informações do indexador e gerenciador de armazenamento até o usuário. Para isso, essa aplicação utiliza os dados armazenados pelo indexador na instância do Postgres. Faz-se uma conexão direta com o banco de dados, habilitando funções de paginação dos dados, filtro de dados por datas de criação e download dos arquivos.

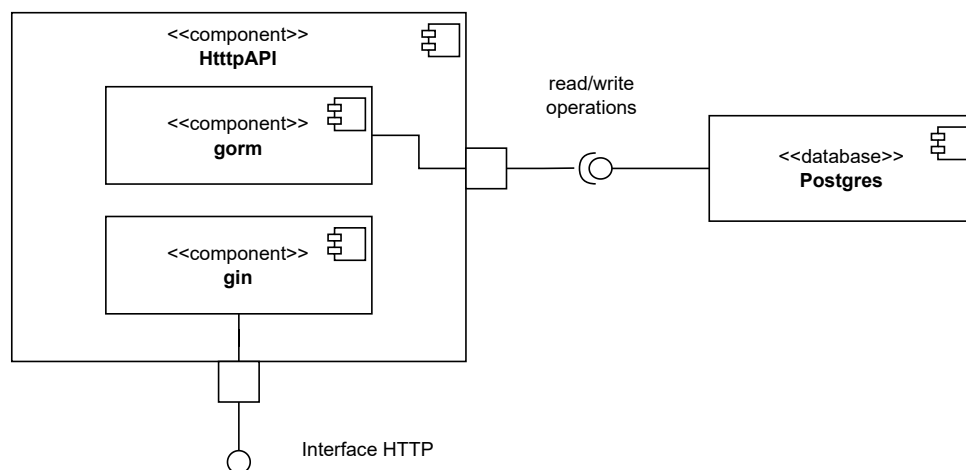


Figura 15 – Diagrama da API HTTP e seus sub-componentes

É possível ver no diagrama da API HTTP que ela depende do pacote Gin para prover uma interface de acesso. Esse pacote traz uma série de facilidades para a configuração: rate limiting, security headers, tempo de timeout, arquivos estáticos, CORS, middlewares, validação de dados, etc.

4.9 Core

Esse é componente que une todo o restante. Nele, o gravador é configurado, seus canais de saída disparam quadros para o componente reconhecedor e eventos de gravação para o indexador, o gerenciador de armazenamento salva os arquivos das gravações e limpa o disco quando necessário e o indexador recebe os demais eventos para estruturar em um

banco de dados. Por último, a API, não incluída no core, serve os eventos estruturados para os clientes.

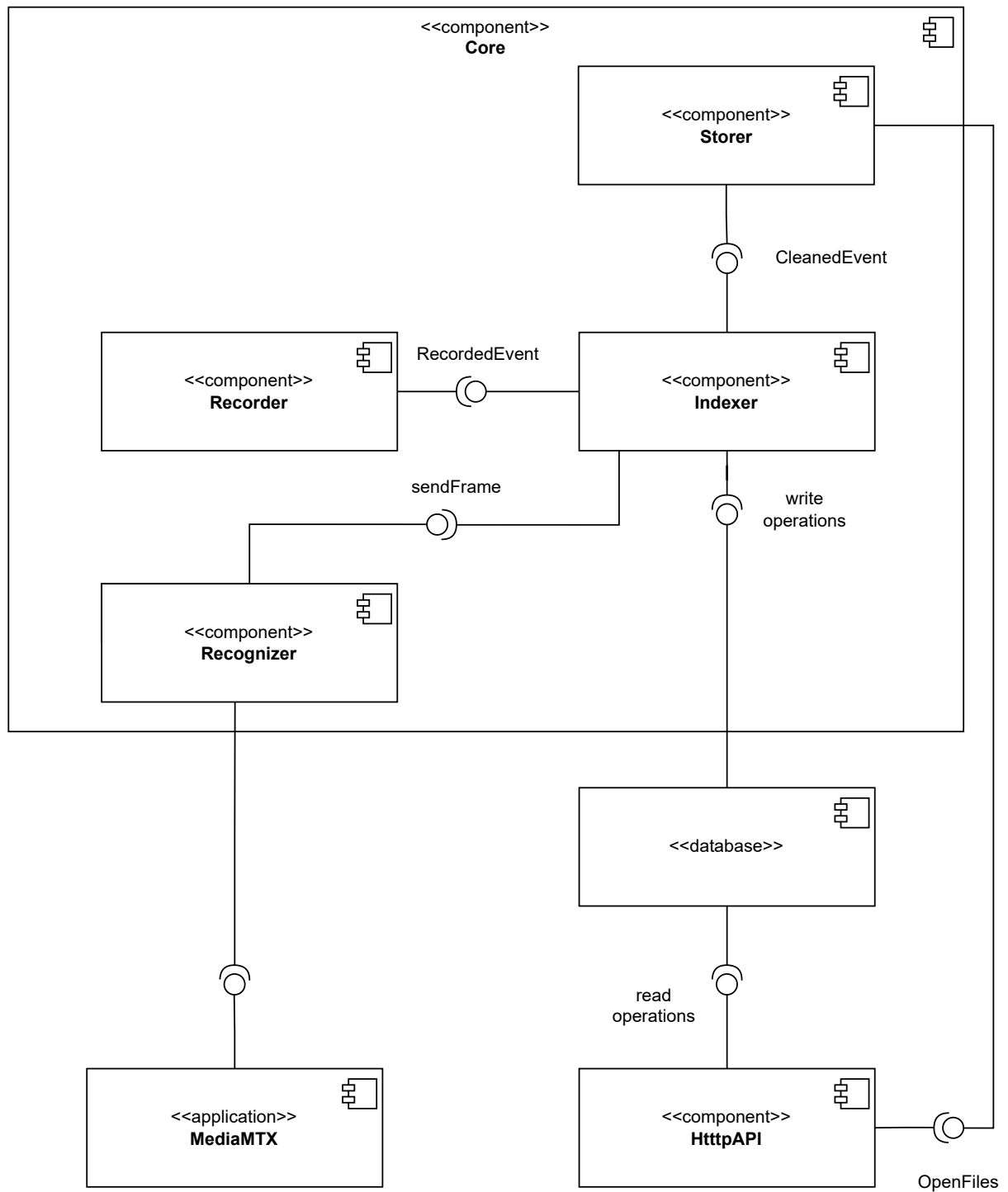


Figura 16 – Todos os componentes principais do SSCS e suas interações

4.10 Documentação

A documentação é fundamental para tornar o software acessível e simplificar sua manutenção. Ela deve ser clara, precisa e fácil de gerar. Idealmente, deve estar integrada ao próprio código, para que a documentação evolua juntamente com ele. Quanto mais fácil for para os programadores produzirem uma boa documentação, melhor para todos.

Nesse sentido, para o código do SSCS a melhor ferramenta documentativa é a `godoc`, que já vem integrada do toolchain do Go. A `godoc` examina os arquivos de código Go, extrai os comentários e organiza-os em uma documentação legível, seja como HTML ou como texto puro. Essa abordagem assegura que a documentação esteja fortemente acoplada com o código que ela descreve, refletindo as convenções de comentários do Go e simplificando a navegação e compreensão do código para outros desenvolvedores.

As convenções de comentários do Go são fáceis de lembrar também. Para comentar um tipo, variável, constante, função ou pacote, escreva o comentário diretamente antes de sua declaração, sem linhas em branco. A `godoc` então será capaz de apresentar o comentário junto com o item que está sendo documentado. Veja como exemplo um comentário do pacote `recognizer` do SSCS:

```
1 // Package recognizer provides implementations
2 // for multiple image recognition algorithms.
3 package recognizer
```

Note que o comentário começa com o nome do elemento que está descrevendo. É essa convenção simples que permite gerar documentos em uma vários formatos, como páginas web, texto plano ou páginas `man` do UNIX. Ou seja, se for preciso visualizar a documentação de um módulo direto no terminal, uma das maneiras é usar o comando `go doc`, da seguinte maneira:

```
1 $ go doc github.com/pedrohba1/SSCS/services/recognizer
2 package recognizer // import
   ↳ "github.com/pedrohba1/SSCS/services/recognizer"
3
4 Package recognizer provides implementations for multiple image
   ↳ recognition algorithms.
5
6
7 type CompositeRecognizer struct{ ... }
8 func MewCompositeRecognizer(fchan chan image.Image)
   ↳ *CompositeRecognizer
```

```
9 type FaceDetector struct{ ... }
10     func NewFaceDetector(fchan chan image.Image) *FaceDetector
11 type MotionDetector struct{ ... }
12     func NewMotionDetector(fchan chan image.Image) *MotionDetector
13 type Recognizer interface{ ... }
```

Analogamente, se for preferível páginas web para navegar pela documentação, uma instância de servidor web local da `godoc` pode ser iniciada localmente por meio da execução do comando `godoc -http=:6060` na raiz do módulo. Além disso, a documentação pode ser publica online no domínio da central de documentações do Go, `pkg.go.dev`, desde que as tags de versão sejam usadas no repositório contendo o código. pacotes da linguagem Go. Inclusive, o SSCS tem sua documentação toda disponível em <https://pkg.go.dev/github.com/pedrohba1/SSCS/services>.

5 Conclusão

Esse trabalho detalhou o processo de desenvolvimento do SSCS. Inicialmente, foram levantados os objetivos gerais e disso surgiram as funcionalidades (gravação, armazenamento, reconhecimento) que resultaram, por sua vez, nos componentes.

O código está disponível sob a licença de código aberto do MIT, resolvendo o objetivo 1. A documentação também está pública e pode ser visualizada facilmente tanto na ferramenta de documentação do golang quanto no site oficial, resolvendo o objetivo 9. Ambos também contribuem para o objetivo 7 indiretamente, além do código limpo da estrutura de componentes do código.

A visualização em tempo real das câmeras acontece pelo MediaMTX, sendo consumida pelo SSCS, que aplica algoritmos de reconhecimento de imagem, estruturando o que foi reconhecido junto com as filmagens em um banco de dados e no sistema de arquivos. Isso cobre os objetivos 3, 4 e 5.

Foram implementadas algumas opções de componentes visão computacional, e todos eles implementam uma estrutura bem simples de comunicação via canais. A partir disso, podem ser criadas várias outras variações com técnicas diferentes. Garantindo o objetivo 8.

Por último, a API HTTP construída resolve o objetivo 6. Buscas filtradas por datas, por tipo de evento de reconhecimento, download de arquivos e paginação foram adicionados para criar uma API funcional.

Espera-se que esse trabalho possa contribuir com o desenvolvimento de projetos de reconhecimento de imagem, dando uma fundação para a aplicação das técnicas em cenários reais. Além disso, por se tratar de um projeto de código aberto, o uso de todo ou partes do SSCS também é esperado por parte de outros desenvolvedores.

Entretanto, ainda existem melhorias a serem feitas no sistema: apesar de ter uma API para servir o consumidor final ainda é necessário que sejam construídas interfaces para facilitar o uso. Uma interface web e outra mobile seriam o ideal. Também é possível explorar implementações de gravador em outros protocolos além do RTSP, como WebRTC, HLS e RTMP, e outros encodings, como VP9, H.265 e AV1. A implementação de algum algoritmo de compressão nas imagens e vídeos gerados poderia ser benéfica para quem utilizar o sistema em máquinas com armazenamento limitado.

Na versão ao fim deste estudo, o SSCS também carece de testes unitários, de integração e de performance. Isso dificulta a ampliação e manutenção de suas ferramentas além de indiretamente tornar o entedimento do código mais difícil, já que muitas

vezes os testes conseguem exemplificar o uso esperado. Outro aspecto que pode ser desenvolvido futuramente é mudança do meio de comunicação entre os componentes: as implementações do gravador, reconhecedor, gerenciador de armazenamento e indexador se comunicam por meio de canais de mensagens intra-processo. Nisso, protocolos para comunicação inter-processual, como o gRPC, poderiam ser implementados. Isso permitiria executar componentes em máquinas diferentes e ainda manter a comunicação, o que vantajoso especialmente para o reconhecedor, que pode precisar de um poder computacional desproporcional dependendo da tarefa de reconhecimento.

Em resumo, o SSCS representa um passo significativo na direção de um sistema de reconhecimento de imagem abrangente e versátil. Ele oferece uma estrutura sobre a qual construções futuras podem ser baseadas, tanto para aprimoramentos diretos do sistema quanto para a exploração de novas aplicações em domínios diferentes. A modularidade e a abertura do código facilitam a customização e a extensão por parte de outros desenvolvedores, promovendo uma comunidade ativa e colaborativa ao redor do projeto.

Referências

- ABDALLA, P. A.; VAROL, C. Testing iot security: The case study of an ip camera. In: *2020 8th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–5. Citado na página 34.
- ABOUT OpenCV. Accessed: 2023–11–22. <<https://opencv.org/about/>>. Citado na página 28.
- BELLARD, F. *FFmpeg*. 2023. GitHub repository. Disponível em: <<https://github.com/FFmpeg/FFmpeg>>. Citado na página 37.
- BURNS, B. *Designing distributed systems: patterns and paradigms for scalable, reliable services*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2018. Citado na página 26.
- BURNS, B. Designing distributed systems: patterns and paradigms for scalable, reliable services. In: _____. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2018. cap. Part I. Single-node Patterns. Citado na página 26.
- CODD, E. F. A relational model of data for large shared data banks. *Commun. ACM*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 13, n. 6, p. 377–387, jun 1970. ISSN 0001-0782. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/362384.362685>>. Citado na página 19.
- COULOURIS, G. et al. *Sistemas Distribuídos - Conceitos e Projeto*. Bookman Editora, 2013. ISBN 9788582600542. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=6WU3AgAAQBAJ>>. Citado na página 19.
- DIGITAL, W. *Surveillance Capacity Calculator*. 2023. Accessed on 2023-11-11. Disponível em: <<https://www.westerndigital.com/tools/surveillance-capacity-calculator>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 33.
- DONOVAN, A. A. A.; KERNIGHAN, B. W. The go programming language. In: _____. [S.l.]: Publisher Name, 2015. cap. Preface, p. 20. ISBN 13: 978-0-13-419044-0. Citado na página 27.
- FOUNDATION, A. S. *Apache License, Version 2.0*. 2004. <<https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>>. Acesso em: 2023. Citado na página 24.
- FOUNDATION, F. S. *GNU General Public License*. 2007. <<https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>>. Acessado em: 2023. Citado na página 24.
- GENERAL Public Virus. The Jargon File. Disponível em: <<http://catb.org/jargon/html/G/General-Public-Virus.html>>. Citado na página 25.
- GLINSKY, A. *Theremin: ether music and espionage*. Urbana: University of Illinois Press, 2000. 46–47 p. ISBN 0252025822. Citado na página 30.
- GROUP, T. H.; FRIENDS. *gocv*. 2023. <<https://pkg.go.dev/gocv.io/x/gocv>>. A Go package wrapper for OpenCV 4.x computer vision library. Citado na página 46.

- GUPTA, A. *Video Surveillance Market Research Report Information By Component (Hardware, Software, Services), By Hardware (Camera, Storage System And Others), By Application (Residential, Commercial, Defense And Infrastructure), And By Region (North America, Europe, Asia-Pacific, And Rest Of The World) – Market Forecast Till 2030*. 2018. Disponível em: <<https://www.marketresearchfuture.com/reports/video-surveillance-market-95q7>>. Citado na página 11.
- INITIATIVE, O. S. *The MIT License*. 2023. Disponível em: <<https://opensource.org/licenses/MIT>>. Citado na página 24.
- IVANOV, Y. et al. Video surveillance of interactions. In: *Proceedings Second IEEE Workshop on Visual Surveillance (VS'99) (Cat. No.98-89223)*. [S.l.: s.n.], 1999. p. 82–89. Citado na página 29.
- JINZHU. *GORM - The fantastic ORM library for Golang*. 2023. Accessed: 2023-11-22. Disponível em: <<https://gorm.io/index.html>>. Citado na página 44.
- KAY, R. *Unix Systems Programming: Communication, Concurrency And Threads, 2/E*. [S.l.]: Pearson Education, 2003. ISBN 0-13-042411-0. Citado na página 23.
- LEE, J. *Scalable Continuous Media Streaming Systems: Architecture, Design, Analysis and Implementation*. Wiley, 2005. ISBN 9780470857649. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=7fuvu52cyNEC>>. Citado na página 15.
- LEE, J. *Scalable Continuous Media Streaming Systems: Architecture, Design, Analysis and Implementation*. Wiley, 2005. 114 p. ISBN 9780470857649. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=7fuvu52cyNEC>>. Citado na página 21.
- MARDJAN, M. J.; JAHAN, A. Open reference architecture for security and privacy. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016. Citado na página 11.
- MARTIN, R. Clean architecture: A craftsman's guide to software structure and design. In: _____. [S.l.]: Prentice Hall, 2018. cap. Part III: Design Principles. ISBN 9780134494166. Citado na página 24.
- MARTIN, R. Clean architecture: A craftsman's guide to software structure and design. In: _____. [S.l.]: Prentice Hall, 2018. cap. 30. ISBN 9780134494166. Citado na página 44.
- MERKEL, D. Docker: lightweight linux containers for consistent development and deployment. *Linux Journal*, v. 2014, n. 239, p. 2, 2014. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/fullHtml/10.5555/2600239.2600241>>. Citado na página 27.
- NEAL, D. Video surveillance in the cloud? *International Journal on Cryptography and Information Security*, Academy and Industry Research Collaboration Center (AIRCC), v. 2, n. 3, p. 1–19, set. 2012. ISSN 1839-8626. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5121/ijcis.2012.2301>>. Citado na página 29.
- OpenCV. *Background Subtraction — OpenCV 3.4 Documentation*. 2021. <https://docs.opencv.org/3.4/de/df4/tutorial_js_bg_subtraction.html>. Accessed: 2023-11-27. Citado na página 16.
- PRESTON-WERNER, T. *Semantic Versioning 2.0.0*. 2013. Disponível em: <<https://semver.org/>>. Citado na página 22.

- QIANG, X. The road to digital unfreedom: President xi's surveillance state. *Journal of Democracy*, Johns Hopkins University Press, v. 30, n. 1, p. 53–67, 2019. Citado na página 11.
- RAO, A.; LANPHIER, R.; SCHULZRINNE, H. *Real Time Streaming Protocol (RTSP)*. RFC Editor, 1998. RFC 2326. (Request for Comments, 2326). Disponível em: <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc2326>>. Citado na página 20.
- ROS, A. *MediaMTX*. 2023. GitHub repository. Disponível em: <<https://github.com/bluenviron/mediamtx>>. Citado na página 37.
- STAUFFER, C.; GRIMSON, W. Adaptive background mixture models for real-time tracking. In: *Proceedings. 1999 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Cat. No PR00149)*. [S.l.: s.n.], 1999. v. 2, p. 246–252 Vol. 2. Citado na página 16.
- VALERA, M.; VELASTÍN, S. A. Intelligent distributed surveillance systems: a review. In: . [s.n.], 2005. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:16525678>>. Citado na página 29.
- VIOLA, P.; JONES, M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In: *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001*. [S.l.: s.n.], 2001. v. 1, p. I–I. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.
- WANG, H.; KWONG, S.; KOK, C.-W. Efficient prediction algorithm of integer dct coefficients for h.264/avc optimization. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, v. 16, n. 4, p. 547–552, 2006. Citado na página 26.