Provas de Conhecimento Zero: Um Estudo sobre zk-SNARKs e sua Aplicação em Sistemas de Autenticação

Alex Davis Neuwiem da Silva

Ciências da Computação | INE | CTC

UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA

Estrutura

Provas de Conhecimento

Autenticação Biométrica

Exemplo de duas colunas

Estrutura

Provas de Conhecimento

Autenticação Biométrica

Exemplo de duas colunas

O que é uma Prova de Conhecimento Zero?

- Permitem que uma parte (o provador) demonstre para outra (o verificador) que uma afirmação é verdadeira
- A propriedade de **conhecimento zero** garante que o verificador seja convencido sem revelar nenhuma informação adicional além da veracidade dessa afirmação

Exemplo de uma Prova de Conhecimento Zero

Uma **prova de conhecimento** permite que um provador convença um verificador de que conhece um valor w tal que:

$$C(x, w) = 0$$

Onde:

- C é o circuito da condição a ser satisfeita
- x é o parâmetro público
- w é o valor privado

A propriedade **conhecimento zero** garante que o verificador não aprende nada sobre w

Pré-processamento do circuito

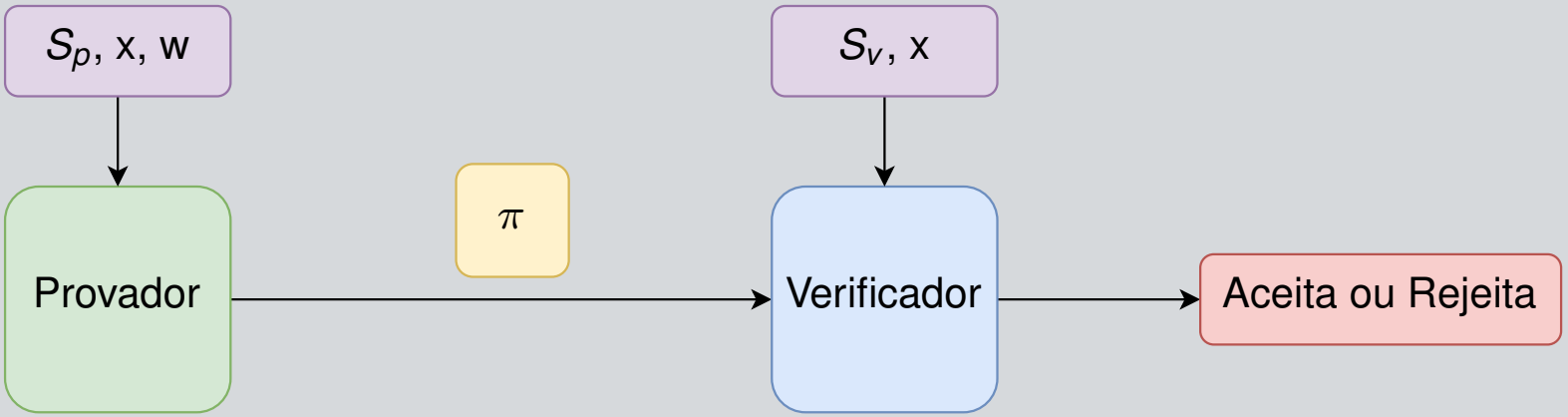
Cerimônia de Confiança sobre o circuito $C(x, w)$:

$$S(C) \rightarrow (S_p, S_v)$$

Um algoritmo que gera:

- Chave de Prova: S_p
- Chave de Verificação: S_v

Processamento de uma prova



Estrutura

Provas de Conhecimento

Autenticação Biométrica

Exemplo de duas colunas

Reconhecimento Facial com Similaridade de Cossenos

O reconhecimento facial pode ser modelado como uma tarefa de comparação entre vetores:

- Cada rosto é representado por um vetor de características (*embedding*)
- Vetores são gerados por redes neurais treinadas para extrair feições únicas

A comparação é feita utilizando a **similaridade de cossenos**.

O que é a Similaridade de Cossenos?

A **similaridade de cossenos** mede o ângulo entre dois vetores:

$$\cos(\theta) = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{\|\vec{A}\| \cdot \|\vec{B}\|}$$

- Varia entre -1 (opostos) e 1 (iguais)
- Se $\cos(\theta) \approx 1$, vetores são semelhantes $\rightarrow$ rostos parecidos

Autenticação com Similaridade de Cossenos

1. A imagem de entrada é convertida em vetor $\vec{A}$
2. Vetor $\vec{B}$ é previamente armazenado durante a etapa de registro
3. Se $\cos(\vec{A}, \vec{B}) > \tau$, a autenticação é aceita

Nota: τ é um limiar definido com base no modelo de IA (ex: 0.7)

Problemas em Armazenar *Embeddings* Sem Proteção

Embeddings faciais são representações vetoriais únicas do rosto de uma pessoa. Armazená-las sem proteção apresenta riscos sérios:

- **Embeddings são identificadores biométricos:** um atacante pode usar *embeddings* roubadas para reconstruir um rosto e se autenticar como outra pessoa
- **Vazamentos são irreversíveis:** diferente de senhas, as representações vetoriais são insubstituíveis

Problemas em Armazenar *Embeddings* Sem Proteção

Embeddings faciais são representações vetoriais únicas do rosto de uma pessoa. Armazená-las sem proteção apresenta riscos sérios:

- **Embeddings são identificadores biométricos:** um atacante pode usar *embeddings* roubadas para reconstruir um rosto e se autenticar como outra pessoa
- **Vazamentos são irreversíveis:** diferente de senhas, as representações vetoriais são insubstituíveis

Solução: usar **provas de conhecimento zero** para provar correspondência sem expor o vetor.

Integração com Provas de Conhecimento Zero

O cálculo da similaridade de cosseno pode ser embutido no circuito de prova de conhecimento zero:

- $\cos(\vec{A}, \vec{B}) > \tau$ é o circuito a ser verificado
- O limiar de similaridade τ é o parâmetro público
- As *embeddings* faciais representam os valores privados

Isso permite autenticação facial **sem revelar** os vetores faciais.

Vantagens do Método Proposto

O sistema de autenticação com provas de conhecimento zero traz benefícios significativos:

- **Privacidade Total:** o verificador não sabe quem é o usuário, apenas verifica se a prova é válida.
- **Resistência a Vazamentos:** nenhum dado biométrico é armazenado no sistema, por isso não há o que ser vazado ou roubado.

Referências


Nir Bitansky, Ran Canetti, Alessandro Chiesa, and Eran Tromer.
From extractable collision resistance to succinct non-interactive arguments of knowledge, and back again.
In *Proceedings of the 3rd Innovations in Theoretical Computer Science Conference*, ITCS '12, page 326–349, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery.


Shafi Goldwasser, Silvio Micali, and Charles Rackoff.
The knowledge complexity of interactive proof systems.
SIAM Journal on Computing, 18(1):186–208, 1989.


Florian Schroff, Dmitry Kalenichenko, and James Philbin.
Facenet: A unified embedding for face recognition and clustering.
In *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, page 815–823. IEEE, June 2015.

Estrutura

Provas de Conhecimento

Autenticação Biométrica

Exemplo de duas colunas

Texto em duas colunas

Figura 1: Legenda da imagem

Logo da UFSC na Figura 1.

Muito obrigado!

UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA