

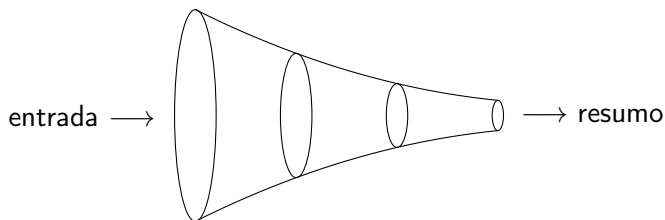
# Esquemas de assinatura digital baseados em funções de resumo

Gustavo Zambonin

Universidade Federal de Santa Catarina  
Departamento de Informática e Estatística  
INE5453 - Introdução ao Trabalho de Conclusão de Curso

# Funções de resumo criptográfico

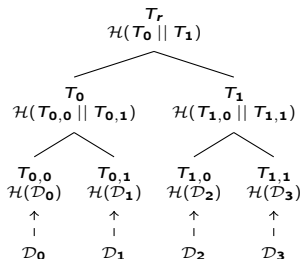
$$\mathcal{H} : \{0,1\}^* \longrightarrow \{0,1\}^n$$



- ▶ RIPEMD:  $n \in \{128, 160, 256, 320\}$
- ▶ SHA-2, SHA-3, BLAKE:  $n \in \{224, 256, 384, 512\}$
- ▶ Keccak:  $n$  arbitrário

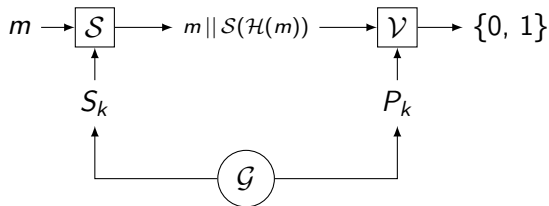
# Árvore de Merkle [7]

- ▶  $\mathcal{H}(m)$  é uma função de resumo aplicada sobre uma mensagem  $m$
- ▶  $\parallel$  é o operador de concatenação de palavras
- ▶  $\mathcal{D}_n$  é um bloco de dados qualquer



# Assinatura digital

- ▶ busca prover autenticação, integridade e não-repúdio
- ▶ baseada em criptografia assimétrica
  - ▶ chaves pública ( $P_k$ ) e privada ( $S_k$ ) para uma entidade
- ▶ consiste de uma tripla de algoritmos [5]
  - ▶ geração de chaves ( $\mathcal{G}$ ), assinatura de mensagens ( $\mathcal{S}$ ), verificação da assinatura ( $\mathcal{V}$ )
- ▶ deve existir uma maneira de ligar o assinante à chave



## Esquema de assinatura de Lamport–Diffie [6]

- ▶ acredita-se ser seguro o suficiente em computadores quânticos
- ▶ par de chaves deve ser utilizado uma única vez
  - ▶ cada uso posterior divide o nível de segurança pela metade
- ▶ descrição do algoritmo
  - ▶  $\mathcal{G}$ :  $S_k = \{y_{i,j} : 1 \leq i \leq n, j \in \{0, 1\}\}$  gerados aleatoriamente  
 $P_k = \{\mathcal{H}(y) : y \in S_k\}$
  - ▶  $\mathcal{S}$ :  $\mathcal{H}(m) = h_1, \dots, h_n \in \{0, 1\}$   
 $\mathcal{S}(\mathcal{H}(m)) = (y_{1,h_1}, \dots, y_{n,h_n})$
  - ▶  $\mathcal{V}$ :  $\forall y_{i,h_i} \in \mathcal{S}(\mathcal{H}(m)), \mathcal{H}(y_{i,h_i}) = P_{k_i,h_i}, 1 \leq i \leq n$

# Esquema de assinatura de Merkle

- ▶ árvore de Merkle + esquema de assinatura única (e.g. Lamport)
- ▶ assina um número limitado ( $t \leq 25$ ) de mensagens  $\{m_1, \dots, m_{2^t}\}$
- ▶ definição do algoritmo para uma árvore  $T$ 
  - ▶  $\mathcal{G}$ :  $\mathbf{S}_k = \{(S_{k_i}, P_{k_i}) : 1 \leq i \leq 2^t\}$   
 $\mathbf{P}_k = \mathcal{H}(T_r)$ , com  $\{\mathcal{H}(P_{k_i}) : 1 \leq i \leq 2^t\}$  como folhas da árvore
  - ▶  $\mathcal{S}$ : escolha de um par não utilizado  $(S_{k_i}, P_{k_i})$ , produz  $S'$   
 $A = a_0, \dots, a_n$  (irmãos dos nodos do caminho até à raiz)  
 $\mathcal{S}(m_i) = \{S' \parallel P_{k_i} \parallel a_0 \parallel \dots \parallel a_n\}$
  - ▶  $\mathcal{V}$ : verifica  $S'$  e constrói a sub-árvore  $T'$ ;  $\mathcal{H}(T'_r) = \mathbf{P}_k$

# Esquemas mais complexos

- ▶ Winternitz (1989, [4])
  - ▶ baseado em aplicações repetidas de  $\mathcal{H}$
  - ▶ assinaturas muito menores
  - ▶ processo de verificação mais eficiente
- ▶ CMSS (2005, [1])
  - ▶ encadeamento de árvores
  - ▶  $2^{40}$  mensagens
  - ▶ guarda apenas a semente do PRNG em  $P_k$
- ▶ GMSS (2007, [3])
  - ▶ *Generalized Merkle Signature Scheme*
  - ▶  $2^{80}$  mensagens
- ▶ XMSS (2011, [2])
  - ▶ *eXtended Merkle Signature Scheme*
  - ▶ uma mensagem comprometida não expõe outras (*forward secrecy*)



J. Buchmann, L. C. Coronado García, E. Dahmen, M. Döring, and E. Klintsevich.

CMSS – An Improved Merkle Signature Scheme.

In R. Barua and T. Lange, editors, *Progress in Cryptology - INDOCRYPT 2006*, pages 349–363, Kolkata, India, 2006.

Springer-Verlag Berlin Heidelberg.



J. Buchmann, E. Dahmen, and A. Hülsing.

XMSS – A practical forward secure signature scheme based on minimal security assumptions.

In B. Yang, editor, *PQCrypto 2011*, pages 117–129, Taipei, Taiwan, 2011. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.



J. Buchmann, E. Dahmen, E. Klintsevich, K. Okeya, and C. Vuillaume. Merkle Signatures with Virtually Unlimited Signature Capacity.

*Lecture Notes in Computer Science*, 4521:31–45, 2007.



## Referências II



C. Dods, N. Smart, and M. Stam.  
Hash Based Digital Signature Schemes.  
*Lecture Notes in Computer Science*, 3796:96–115, 2005.



O. Goldreich.  
*Foundations of Cryptography: Volume 2, Basic Applications*.  
Cambridge University Press, New York, NY, USA, 2004.



L. Lamport.  
Constructing Digital Signatures from a One Way Function.  
*SRI International*, 1979.



R. C. Merkle.  
Method of providing digital signatures, 1982.  
US Patent 4,309,569.