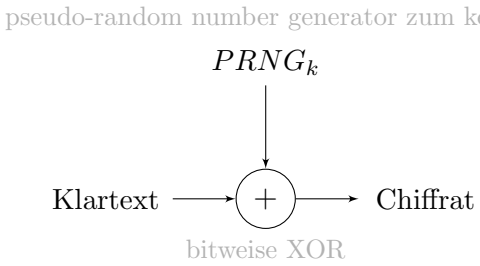
III. Symmetrische Verschlüsselung

FIXME: Definition vernachlässigbare Funktion, S. 4

III.1. Stromchiffren



III.1.1. Anforderungen

- PRNG muss effizient berechenbar sein
- Pseudozufall ununterscheidbar von echtem Zufall
  (formal: gegeben Orakel $\mathcal{O}_{ideal}$, welches echten Zufall ausgibt, und $\mathcal{O}_{real}$, welches $PRNG_k$ mit geheimem Schlüssel k implementiert, gilt für alle (Polynomialzeit)Angreifer $\mathcal{A}$:

  $$\left|Pr[\mathcal{A}^{\mathcal{O}_{ideal}} \to 0] - Pr[\mathcal{A}^{\mathcal{O}_{real}} \to 0]\right|$$

  ist vernachlässigbar in $|k|$).

III.2. Blockchiffren

III.2.1. Definition

Seien k ein Schlüssel aus dem Schlüsselraum $\mathcal{K}$, A und B sind Ein- bzw. Ausgabealphabete und n und m die zugehörigen Blocklängen. Eine Blockchiffre ist eine Familie von injektiven Abbildungen $\{f_k \colon A^n \to B^m\}_{k \in \mathcal{K}}$.

FIXME: Bild Blockchiffre, S. 4

III.2.2. Anforderungen

- gegeben ein Orakel $\mathcal{O}_{ideal}$, welches eine zufällige Injektion $A^n \to B^m$ implementiert, und $\mathcal{O}_{real}$, welches f_k mit geheimem Schlüssel k implementiert, gilt für alle (Polynomialzeit)Angreifer $\mathcal{A}$: $\left|Pr[\mathcal{A}^{\mathcal{O}_{ideal}} \to 0] - Pr[\mathcal{A}^{\mathcal{O}_{real}} \to 0]\right|$ ist vernachlässigbar in $|k|$.
- gegeben k, müssen f_k und f_k^{-1} effizient berechenbar sein

III.2.3. Beispiel: DES (Data Encryption Standard)

FIXME: Bild DES, S. 5

Eigenschaften

- bis heute strukturell ungebrochen
- aber: Schlüssel zu kurz (Brute-Force-Attacken sind heute praktikabel)

→ Abhilfe: 3DES (Chiffrat = $DES_{k_3}(DES^{-1}_{k_2}(DES_{k_1}(Nachricht)))$)
→ Warum nicht 2DES? Antwort: Meet-in-the-Middle-Attacken

Meet-in-the-Middle (gegen 2DES):

FIXME: Bild Meet in the Middle, S. 6

Known-Plaintext-Angriff, gegeben ein Klartext-Chiffrat-Paar (M, C):

1. Vorwärts-Schritt: Tabelliere $(DES_k(M), k)$ für alle Schlüssel $k \in \{0,1\}^{56}$.
2. Sortiere die Tabelle.
3. Rückwärts-Schritt: Für jedes $k \in \{0,1\}^{56}$ berechne $(DES_k(C)$ und suche Tabelleneintrag mittels binärer Suche.

Aufwand: $\approx 56 \cdot 2^{56}$ für das binäre Sortieren, $\approx 2^{56}$ für die binäre Suche, insgesamt also nur ≈ 56 mal mehr Aufwand als bei DES

III.2.4. Beispiel: Rijndael/AES (Advanced Encryption Standard)

- 128 bit Blocklänge
- 3 Varianten:
  - 128, 192, 256 bit Schlüssel
  - 10, 12, 14 Runden
- Darstellung von State und Rundenschlüssel als 4×4-Byte-Matrix
- Ablauf einer Runde in 4 Schritten: **FIXME:** Bild AES, S. 7
- Bestimmen der Rundenschlüssel:
  - teile Schlüssel in 4-Byte-Worte
  - berechen $W[i] := W[i-4] \oplus W[i-1]$ und ab und zu Byteinvertierungen
- mögliche Schwäche: AES lässt sich als geschlossene algebraische Gleichung schreiben und ist damit theoretisch mathematisch brechbar

III.2.5. Betriebsmodi

ECB (Electronic Codebook Mode)

FIXME: Bild ECB, S. 8

Nachteile:

- gleiche Klartextblöcke werden auf gleiche Chiffratblöcke abgebildet
- Angreifer kann Blöcke vertauschen, löschen, duplizieren

Vorteile:

- Übertragungsfehler (Bitflips) auf den betroffenen Block begrenzt[1]
- perfekt parallelisierbar (zum Ver- und Entschlüsseln der Blöcke ist jeweils nur der Schlüssel nötig)
- verschlüsselte Datenspeicher blockweise bearbeitbar

CBC (Cipher Block Chaining)

FIXME: Bild CBC, S. 8

Vorteile:

- Nachteile von ECB beseitigt
- Enschlüsselung selbstsynchronisierend (Klartextblock wird nur aus den letzten beiden Chiffratblöcken berechnet) → wahlfreier Lesezugriff

Nachteile:

- geringer Bandbreitenverlust, da Initialisierungsvektor übertragen werden muss
- Fehler breiten sich auf einen weiteren Block aus

OFB (Output Feedback Mode)

FIXME: Bild OFB, S. 9

Vorteile:

- Entschlüsselung muss nicht effizient sein
- keine Fehlerübertragung bei Bitflips
- Pseudozufallsstrom vorberechenbar

Nachteile:

- gleicher Initialisierungsvektor bewirkt: $c_1 \oplus c_2 = m_1 \oplus m_2$
- nicht robust gegen Verlorengehen ganzer Blöcke
- Angreifer kann gezielt Klartextbits kippen

[1] aber: betrifft den ganzen Block, da Verschlüsselung jedes einzelnen Bits im Block von jedem Bit im Block abhängig

CTR (Counter Mode)

FIXME: Bild CTR, S. 9

Nachteile:

- wie OFB

Vorteile (wie OFB und ECB):

- gut parallelisierbar
- Pseudozufallsstrom vorberechenbar
- Fehlerfortpflanzung auf Blöcke begrenzt
- wahlfreier Zugriff auf verschlüsselten Speicher
- muss nicht invertierbar sein