Vorlesung Sicherheit

Dennis Hofheinz

ITI, KIT

02.06.2014

Überblick

Überblick

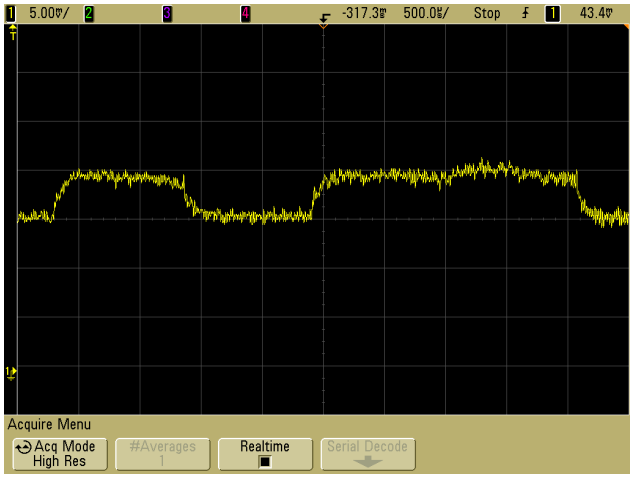
Demonstration

- **Demonstration:** Messung der Abstrahlung eines FPGA bei Zufallserzeugung

Überblick

Simple Power Attacks (SPAs)

- **Ziel:** Geheime Information, die auf Chip verarbeitet wird
  - Gespeicherter/verarbeiteter Schlüssel (DES-K, RSA-sk, ...)
  - Erzeugter Zufall (RSA-OAEP-/ElGamal-Verschlüsselung)
- **Vorgehen:** Stromverbrauchsmessung $\rightarrow$ Trace $\rightarrow$ Geheimnis
  - Wenn K in Algorithmus bitweise verarbeitet, dann könnte...



(Quelle: `wikipedia.org`)

im einfachsten Fall $K_1 = 1, K_2 = 0, K_3 = K_4 = 1, \ldots$ bedeuten

Beispiel einer SPA

- **Szenario:** RSA-Entschlüsselung (ggf. mit gepaddetem M)

$$M = C^d \bmod N$$

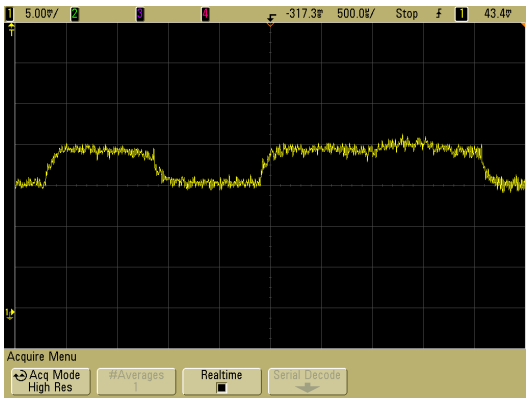
- Gängige Implementierung mit Square-and-Multiply:
  1. write $d = \sum_{i=0}^{n-1} 2^i d_i$ (d.h. d_i i-tes Bit von d)
  2. let $x := C$, $z := 1$ (x Hilfsvariable, z Zwischenergebnis)
  3. for i from 0 to $n-1$
     1. if $d_i = 1$ then
        $z := z \cdot x \bmod N$
     2. $x := x^2 \bmod N$ ($x = C^{2^i} \bmod N$ *vor* diesem Schritt)
  4. return $M := z = C^d \bmod N$

Beispiel einer SPA

- **Szenario:** RSA-Entschlüsselung mit Square-and-Multiply

$$M = C^d \bmod N$$

- Beobachtungen:
  - d wird bitweise abgearbeitet
  - Im i-ten Schleifendurchlauf $1 + d_i$ modulare Multiplikationen
- Deshalb:



bedeutet hier $d_0 = 0$, $d_1 = 1$ (wenn dies der Anfang ist)

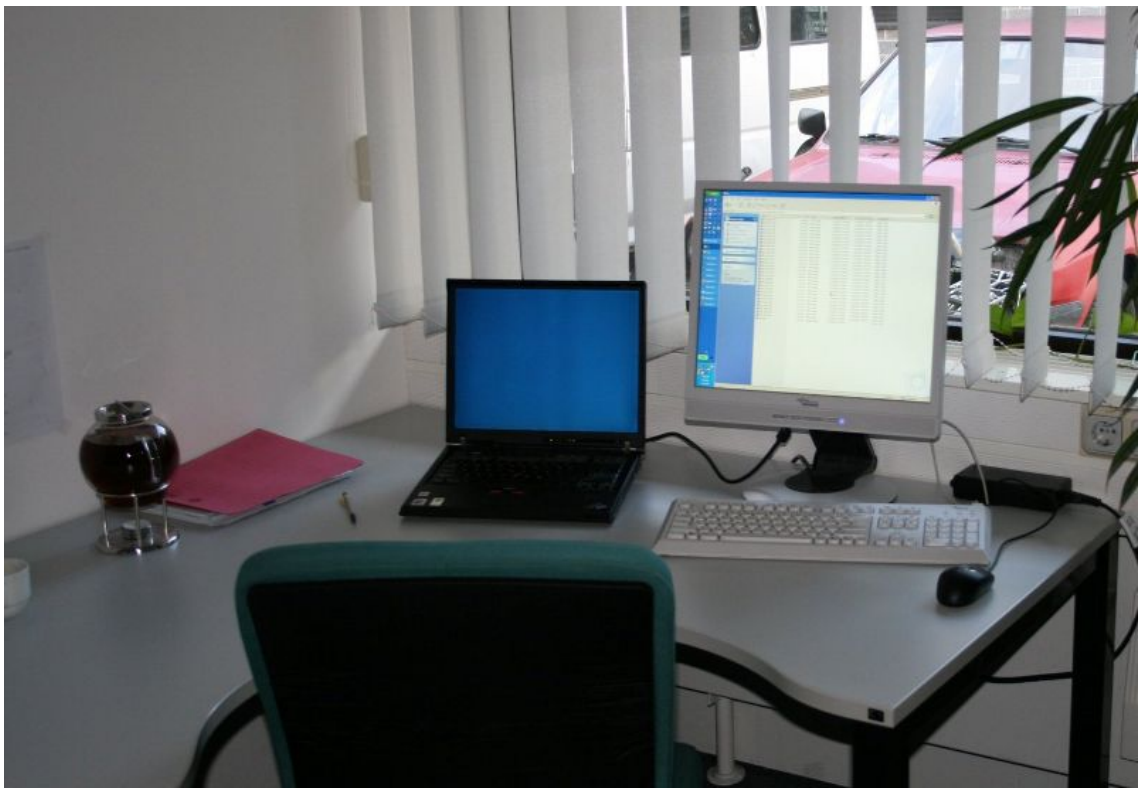
Überblick

(Weitere) Beispiele für Seitenkanäle

- Stromverbrauch („Power Analysis“, gesamt oder als Trace)
- Elektromagnetische Abstrahlung
- Akustische Abstrahlung:
  `http://tau.ac.il/~tromer/acoustic/`
- Gesamtlaufzeit eines Algorithmus („Timing-Attack“)
- Temperatur (möglicherweise. . .)
- . . .

Ein exotischer Seitenkanal

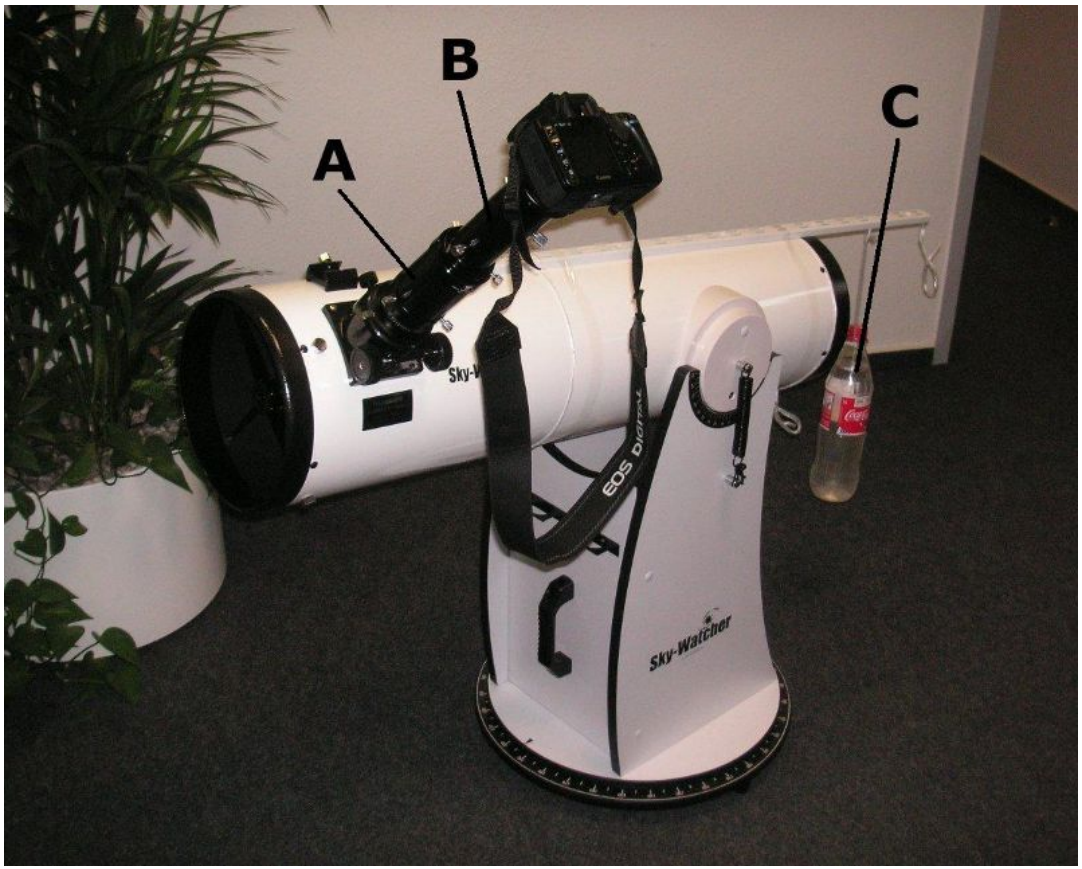
- **Idee:** nutze Lichtreflektionen aus



(Quelle der folgenden Bilder: Backes, Dürmuth, Unruh: „Compromising Reflections – or – How to Read LCD Monitors Around the Corner“)

Ein exotischer Seitenkanal

- **Angriffswerkzeug:**



Ein exotischer Seitenkanal

- **Angriffsbeispiele:**

Ein exotischer Seitenkanal

- **Angriffsbeispiele:**

Ein exotischer Seitenkanal

- **Angriffsbeispiele:**

Ein exotischer Seitenkanal

- **Angriffsbeispiele:**

Überblick

Gegenmaßnahmen gegen SPA

- Hardware-Gegenmaßnahmen:
  - Elektromagnetische/akustische Abschirmung
  - Stromverbrauch/Laufzeit konstant halten
- Algorithmische Gegenmaßnahmen:
  - Konkreten Ablauf (bis auf Ausgabe) unabhängig von Geheimnis gestalten
  - Zufällige Störungen/Operationen einbauen
- Leider viele unveröffentlichte und ad-hoc-Methoden
- **Aber:** aktuelle Chipkarten gegen SPA unanfällig

Überblick

Differential Power Analysis (DPA)

- DPA: Verbesserung von/Alternative zu SPA
- DPA hat höhere Anforderungen als SPA:
  - Implementierung muss (bis auf Schlüssel) bekannt sein
  - Viele Traces benötigt
- DPA hat einige Vorteile gegenüber SPA:
  - Geheimnis muss nicht bitweise abgearbeitet werden
  - (Fast) beliebige Korrelationen zwischen Geheimnis und Seitenkanal nutzbar
  - Auch „gröbere“ Seitenkanäle wie Laufzeit nutzbar

Grundidee DPA

- Annahme: viele Traces T_X (für Eingaben X) gegeben, dann:
  1. Rate ersten Teil s von Geheimnis S, der benutzt wird
  2. Verifiziere Korrektheit von s wie folgt:
     1. Simuliere (mit geratenem s) System für alle X, soweit möglich
     2. Gruppiere Eingaben X nach *simuliertem* Stromverbrauch

$$\mathcal{L} := \{X \mid \text{Simulation mit } X \text{ hat niedrigen Stromverbrauch}\}$$
$$\mathcal{H} := \{X \mid \text{Simulation mit } X \text{ hat hohen Stromverbrauch}\}$$

     3. Betrachte durchschnittlichen *realen* Stromverbrauch:

$$T_{\mathcal{L}} := \mathop{\mathbf{E}}_{X \in \mathcal{L}}(T_X) \qquad T_{\mathcal{H}} := \mathop{\mathbf{E}}_{X \in \mathcal{H}}(T_X)$$

     4. Wenn $T_\Delta := T_{\mathcal{H}} - T_{\mathcal{L}}$ „groß“, dann richtiges s gefunden

Eigenschaften von DPA

- Naive Implementierungen von DES, RSA, . . . angreifbar
  - Laufzeitbetrachtung (ein Wert pro Eingabe) reicht aus
- Gegenmaßnahmen wie bei SPA, und mehr:
  - „Blinding“: wähle zufälliges R und berechne M als

$$M = C^d = (R \cdot C)^d / R^d \bmod N$$

- Gängige Chipkarten berücksichtigen DPA

Überblick

Aktive Seitenkanalangriffe

- **Idee:** manipuliere System auf physikalischem Weg
  - Gewinne dadurch Information über Geheimnis in System
- **Beispiel 1:** Angriff auf CRT-RSA
- **Beispiel 2:** Cold Boot Attacks

(Aktiver) Angriff auf CRT-RSA

- System berechnet $M_P = C^d \bmod P$ und $M_Q = C^d \bmod Q$, setzt $M \bmod N$ mit Chinesischem Restsatz zusammen
- Realistisch, weil viel effizienter als direkte Rechnung $\bmod N$
- **Angriff:** störe *nur* Berechnung von M_P (nicht aber von M_Q)
- Für gestörtes $\widetilde{M}$ gilt $\widetilde{M} \neq C^d \bmod P$ und $\widetilde{M} = C^d \bmod Q$
- Zusammen mit echtem (ungestörtem) M gilt

$$\widetilde{M} - M \neq 0 \bmod P \quad \text{und} \quad \widetilde{M} - M = 0 \bmod Q$$

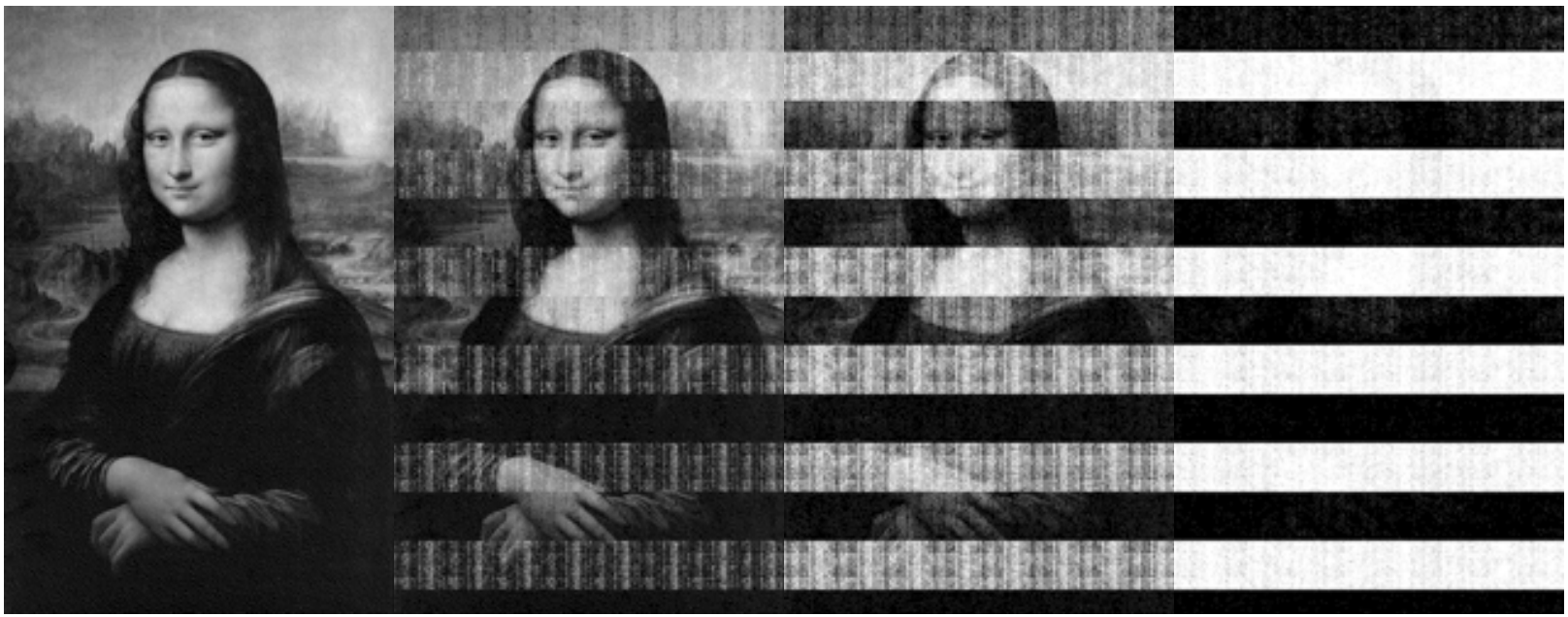
- Also nur Q Teiler von $\widetilde{M} - M$, deshalb $\gcd(\widetilde{M} - M, N) = Q$

Cold Boot Attacks

- **Ziel:** Festplattenverschlüsselung brechen
- **Überblick Festplattenverschlüsselung:** (vereinfacht)
  - Gesamte Festplatte (symmetrisch) verschlüsselt
  - Bei Start/Aufwachen Frage nach Schlüssel K
  - Während Betrieb K im Hauptspeicher
- **Grobe Idee des Angriffs:**
  1. Festplatten-verschlüsseltes Notebook stehlen
  2. Notebook ausschalten (Akku raus, kein Herunterfahren)
  3. Hauptspeicher ausbauen und auslesen $\rightarrow K$
     (Alternativ: extern booten, und Hauptspeicher auslesen)

Cold Boot Attacks

- **Problem:** ausgebauter Hauptspeicher verliert Information



(Quelle: Princeton University)

- **Frage:** Wie schnell geht das?

Cold Boot Attacks

- **Lösung:**

(Quelle: Princeton University)

- Demonstration für BitLocker verfügbar, weitere angreifbar

Überblick

Theoretische Modelle

- **Sind wir also physikalischen Angriffen ausgeliefert?**
- Nicht ganz:
  - Seit ≈2004 theoretische Modelle für Seitenkanalangriffe
  - Ziel: theoretisches Modell ⇒ sichere Schemata
  - Schwierigkeit: handhabbare *und* realistische Modelle finden
- Aktueller Stand:
  - Es existieren handhabbare (d.h. erfüllbare) Modelle
    - Insbesondere: symmetrische/asymmetrische Verschlüsselung
  - Es existieren realistische (von Praktikern begrüßte) Modelle
    - Allerdings sind diese nur schwer handhabbar
- Forschung: effiziente Verfahren für realistische Modelle

Beispiel für theoretisches Modell

- IND-CPA (für PKE) mit Leakage-Resilience:
  1. $\mathcal{A}$ erhält pk
  2. $\mathcal{A}$ wählt L, erhält $L(sk)$
  3. $\mathcal{A}$ wählt $M^{(1)}, M^{(2)}$, erhält $C^* = \mathrm{Enc}(pk, M^{(b)})$
  4. $\mathcal{A}$ rät b (und gewinnt, wenn richtig geraten)
- L sollte nicht *nach* Erhalt von C^* gewählt werden
- L sollte nicht erlauben, sk zu berechnen
- Vorgeschlagen: L beliebig, aber $L(sk)$ (deutlich) kürzer als sk
  - Beispiel für erlaubtes L: $L(sk) =$ „erste Hälfte von sk“
  - Schwierigkeit: Verfahren muss von L unabhängig sein
  - Für dieses Modell existieren effiziente sichere Verfahren
- Realistischer/schwieriger: L beliebig, aber *one-way*

Beispiel für theoretisches Ergebnis

- **Ziel:** „Immunisierung“ von Schaltkreisen
- **Idee:** Schaltkreis $C \rightarrow$ immunisierter Schaltkreis C'
- Passive Sicherheit möglich:
  - Sei $t \in \mathbb{N}$ vorgegeben und fest
  - Dann existiert C', so dass die Belegung von je t beliebigen interne Bits (=„Drähte“) von C' unabhängig zufällig aussieht
- Auch aktive Sicherheit möglich (Absicherung gegen „Tampering“ von bis zu t Bits)
- Absicherungen erhöhen Größe von Schaltkreis signifikant

Überblick

Zusammenfassung Seitenkanalangriffe

- Auf ungesicherte Systeme oft schon SPA anwendbar
- DPA flexibler, benötigt aber mehr Traces
- Vielzahl von passiven/aktiven physikalischen Angriffen möglich
  - Mehr/erweiterte Angriffe aktuell untersucht
- Theoretische Modelle/Konstruktionen aktuell diskutiert
  - Realistische/handhabbare Modelle