

G Sicherheitkonzepte für die Ausführung von Anwendungen

G.1 Überblick

- Sprachbasierter Schutz
- Schutz zur Laufzeit
- Java-Sicherheit
- Sicherheit der Systemschnittstelle
- Symbian OS

G.2 Sprachbasierter Schutz

- Schutzkonzepte und Kontrollen auf der Ebene von Programmiersprache, Compiler und Binder
 - Möglichkeit, Sicherheitsprobleme sehr frühzeitig zu erkennen
 - feingranularer, Anwendungs-spezifischer Zuschnitt von Sicherheitseigenschaften
 - im Gegensatz zu grob-granularen Konzepten des Betriebssystems oder der MMU
- Sicherheitskonzepte auf programmiersprachlicher Ebene unterstützen die Entwicklung sicherer Anwendungen
 - aber kein Ersatz für spezielle Entwicklungsmethoden und -Verfahren bei der Erzeugung sicherer Software (→ Security Engineering)

1 Programmiersprachliche Konzepte

- ★ Typisierung
 - ◆ strenge Typisierung
 - keine Typkonvertierung zwischen Objekten unterschiedlichen Typs
 - nur Typ-konforme Operationen und Aufrufe
 - ◆ statische Typprüfung
 - Compiler überprüft Typ-Konformität
 - Typ-Fehler führen zu Fehler zur Übersetzungszeit
 - ◆ dynamische Typprüfung
 - Laufzeit-/Betriebssystem überprüft Typ-Konformität
 - wichtig bei dynamischem Binden von Software
 - Typfehler führt zu Abbruch der Operation
 - Problem: Abbruch kann zu System-Inkonsistenzen führen
 - Lösung: kontrollierte Behandlung von Abbrüchen

1 Programmiersprachliche Konzepte (2)

- ★ Ausnahmebehandlung
 - ◆ Fehlersituationen werden abgefangen und durch Behandlungsroutinen speziell bearbeitet
 - System-Inkonsistenzen können aufgeräumt werden
 - fehlende Rechte können evtl. dynamisch nachgefordert werden und die abgebrochene Bearbeitung kann fortgesetzt werden
- ★ Transaktionskonzept
 - ◆ Unterstützung zur Bereinigung von inkonsistenten Zuständen beim Abbruch von Bearbeitungen
 - ◆ in Datenbanksystemen gängige Technik (ACID-Transaktionen), in Programmiersprachen nicht etabliert

1 Programmiersprachliche Konzepte (3)

- ★ keine direkten Speicherzugriffe
 - ◆ häufige Fehlerquelle: direkte Speicherzugriffe über Zeiger
 - zusätzliches Problem: Zeiger-Arithmetik
 - ◆ Lösung: statt direkte Speicherreferenzen nur typisierte Objektreferenzen

- ★ keine explizite Speicherverwaltung
 - ◆ 1. Problem: vergessene Freigaben → Speicherverlust
 - ◆ 2. Problem: Freigabe und Wiederverwendung von Speicher auf den noch Objektreferenzen zeigen
 - kann zu nicht-erkennbaren Typverletzungen führen
 - ◆ Lösung: Allokation von Objekten und automatische Garbage Collection

- ★ Programmiersprachlichen Konstruktionsprinzipien
 - ◆ Modularisierung und Kapselung von Objektzuständen
 - ◆ Sichtbarkeitsbereiche → *need-to-know*-Prinzip bereits auf Sprachebene

2 Compiler und Binder

- ★ Informationsflusskontrolle
 - ◆ Menge von Sicherheitsklassen, Flussrelation beschreibt zulässige Informationsflüsse zwischen den Klassen
 - ◆ jedes Datum X wird mit einer Sicherheitsklasse $l(X)$ versehen
 - ◆ für jedes Sprachkonstrukt wird spezifiziert, welche Informationsflüsse durch seinen Einsatz entstehen können
 - explizite Informationsflüsse (z. B. durch Zuweisungen)
 - implizite Informationsflüsse (z. B. als Ergebnis einer if-Abfrage)
 - ◆ Basis für eine übersetzerbasierte Zertifizierung von Code

- ★ allgemeine Compiler-Techniken
 - ◆ Prüfung der Einhaltung von Typregeln
 - ◆ Strenge Typisierung erlaubt die Prüfung von Wertebereichen und die Erkennung von Bereichsüberschreitungen
 - häufige Ursache für Sicherheitsprobleme
 - ◆ Einhaltung von Sichtbarkeitsregeln

2 Compiler und Binder (2)

- ★ Generierung von Kontrollcode
 - ◆ Erkennen von Speicherüberläufen (→ *Canaries*), Verletzung von Feldgrenzen
 - ◆ Bereitstellung von Attributinformationen (z. B. Typinformationen)
 - ◆ Aufrufe über symbolische Namen und Aufruftabellen
 - keine direkten Sprünge auf Speicheradressen
 - Aufruftabelle ermöglicht dynamische Kontrolle der Aufrufe (z. B. Zwischenschalten von Kontrollobjekten)
 - ◆ kontrollierte Speicherzugriffe und Sprünge

- ★ Binden
 - ◆ Problembereich: dynamisches Binden
 - wer kontrolliert, welcher Code zur Laufzeit hinzugebunden wird?
 - ungeprüfter Binärcode kann Sicherheit komplett zerstören
 - nur wenn Übersetzer genügend Kontrollinformation für Binder zur Verfügung stellt, ist ausreichende Prüfung möglich!

G.3 Schutz zur Laufzeit

- Eingrenzung der Programmausführung durch Hardwaremechanismen
 - logische/virtuelle Adressräume
 - MMU

- Eingrenzung durch Softwaremechanismen: **Sandboxing**
 - ◆ Aufteilung eines Adressraums in Regionen
 - z. B. 256 Sandboxes à 16 MB in einem 32-Bit-Adressraum
 - alle Adressen innerhalb einer Sandbox sind in den oberen 8 Bit gleich
 - getrennte Sandboxes für Code und Daten
 - Code darf nicht auf Adressen außerhalb der Code-Sandbox springen + Code darf nicht auf Daten außerhalb der Daten-Sandbox zugreifen
 - auch auf Binärcode-Ebene einfach statisch bzw. durch einfache Laufzeit-Tests abprüfbar
 - getrennte Sandboxes verhindern Code-Manipulationen
 - Systemaufrufe werden über Referenzmonitor (spezielle Sandbox im Adressraum) umgeleitet und dort nach Sicherheitsstrategie überprüft

G.4 Java-Sicherheit

G.4 Java-Sicherheit

- Grundkonzepte
 - ◆ Plattformunabhängigkeit: Compiler erzeugt maschinenunabhängigen Bytecode
 - ◆ Bytecode enthält umfangreiche Typinformationen
 - ◆ Sicherheitsüberprüfung zur Ladezeit durch Bytecode-Verifier
 - ◆ Ausführung durch JVM - JIT-Compiler oder Interpreter
 - ◆ Sicherheitskontrolle zur Laufzeit durch Security-Manager
- Java-Applets
 - mobile Java-Software-Komponenten, die innerhalb einer Anwendung (z. B. Browser) ausgeführt werden
 - eingeschränkte Rechte zur Ausführungszeit wichtig
- Java-Anwendungen
 - selbstständige Programme, die in einer JVM ausgeführt werden
 - Rechte analog zur Ausführung anderer Anwendungen

SYSSEC

Systemsicherheit
© • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2011

G-Ausführung_fm 2011-02-02 19.12

G.9

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Schutzkonzepte der Programmiersprache

G.4 Java-Sicherheit

- Objektorientierung unterstützt Kapselung von Objekten
 - Kapselung durch Sichtbarkeitsregeln (private/public)
 - Zugriff auf Zustand nur über Methoden-Schnittstelle
- Typisierung stellt sicher, dass nur typkonforme Aufrufe erfolgen können
 - keine beliebigen Casts möglich
- keine Zeiger und keine Zeiger-Arithmetik
 - keine direkten Speicherzugriffe
 - keine Umgehung des Typsystems möglich
- kontrollierte Feldgrenzen
 - kein Zugriff über Feldgrenzen hinaus
 - keine unkontrollierten Speicherzugriffe ...

SYSSEC

Systemsicherheit
© • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2011

G-Ausführung_fm 2011-02-02 19.12

G.10

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Sicherheitsarchitektur

G.4 Java-Sicherheit

- Strukturierter Bytecode
 - ◆ `.class`-Datei enthält Bytecode und umfangreiche Informationen aus dem Quellprogramm
 - Typinformationen
 - maximal benötigter Stack
 - benötigte Register
 - ◆ Basis für Überprüfungen zur Ladezeit (Bytecode-Verifier) und zur Laufzeit (dynamische Typprüfungen)
 - ◆ essentieller Unterschied zu traditionellen Sprachen (wie C)
 - Binärcode enthält keine oder nur sehr rudimentäre Informationen aus der Quelle

SYSSEC

Systemsicherheit
© • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2011

G-Ausführung_fm 2011-02-02 19.12

G.11

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Sicherheitsarchitektur (2)

G.4 Java-Sicherheit

- Bytecode-Verifier
 - ◆ überprüft Bytecode auf syntaktische und strukturelle Korrektheit
 - ◆ Zugriffe auf undefinierte Register?
 - ◆ Illegale Kontrollflussoperationen?
 - ◆ Datenflussanalyse
 - keine Typverletzungen zur Laufzeit?
 - korrekte Initialisierung aller Variablen?
 - keine Stackgrenzenverletzungen?
- ClassLoader
 - ◆ lädt Code in Ausführungsumgebung der JVM
 - ◆ nicht-vertrauenswürdige Applets erhalten isolierten Namensraum und werden auf interne Methodenaufrufe und Aufrufe vorgegebener Systemfunktionen beschränkt (Sandboxing)
 - ◆ Systemklassen dürfen nicht überschrieben werden

SYSSEC

Systemsicherheit
© • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2011

G-Ausführung_fm 2011-02-02 19.12

G.12

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Sicherheitsarchitektur (3)

- Security Manager
 - ◆ kontrolliert zur Laufzeit alle Zugriffe auf sicherheitskritische Systemressourcen innerhalb der JVM
 - Definition eines neuen ClassLoaders
 - Zugriffe auf Dateien
 - Zugriffe auf Netzwerk
 - Zugriffe auf Betriebssystemdienste
- Sicherheitsprobleme
 - ◆ Bytecode-Verifier führt keine wirkliche Code-Verifikation durch
 - lediglich Tests auf strukturelle Konformität und Einhaltung einiger Konventionen (z. B. Typisierung)
 - ◆ Bytecode kann manipuliert werden
 - Verifier akzeptiert auch Code, der nicht den Java-Sprachkonventionen entspricht und so nicht von einem Compiler erzeugt würde (→ trügerische Sicherheit)

2 Sicherheitsarchitektur (4)

- Sicherheitsmodelle
 - ◆ ursprünglich nur Unterscheidung zwischen lokalem Code (vertrauenswürdig) und Applets (nicht vertrauenswürdig)
 - problematisch, um mit Applets sinnvolle Anwendungen aufzubauen
 - ◆ signierte Applets ab JDK1.1
 - auch vertrauenswürdiger Code im verteilten System möglich
 - Signaturen nur sehr grob-granular (pro Software-Paket = JAR-Datei)
 - volle Rechte für alle Komponenten eines korrekt signierten Pakets widersprechen dem Prinzip der minimalen Rechte
- ➔ Sicherheitsstrategien ab Java 2

2 Sicherheitsarchitektur (5)

- Subjekte (lokaler oder entfernter Code) unterliegen einer Sicherheitsstrategie
 - Spezifikation durch Administrator oder Benutzer: Politik-Objekte
 - Standard-Strategie: Sandboxing
- Sicherheitsstrategie
 - beschreibt Berechtigungen des Codes in Abhängigkeit von Herkunft oder Signaturen (Herkunftsort = URL)
 - Berechtigungen für Datei-, Netzwerk- oder awt (Fenster)-Zugriffe
 - anwendungsspezifisch erweiterbar
 - Schutzdomänen fassen Klassen mit gleicher Herkunft/Signatur zusammen
 - Rechtevergabe an Schutzdomänen
 - kontrollierte Kommunikation zwischen Schutzdomänen
 - über vermittelnden Systemcode oder explizite Rechtevergabe an beteiligte Domänen

2 Sicherheitsarchitektur (6)

- Access Controller
 - ◆ Security Manager leitet seine Überprüfungen an Access Controller weiter
 - ◆ Access Controller prüft auf Basis der Politik-Objekte
 - hat das ausführende Subjekt (dessen Schutzdomäne) die erforderlichen Rechte?
 - Aufrufstack enthält alle durchlaufenen Schutzdomänen
 - ◆ unzulässige Aufrufe lösen Exception aus
- Sicherheitsprobleme (2)
 - ◆ Subjekte = Java-Klassen, nicht Benutzer
 - ◆ Rechtevergabe auf Basis Herkunft/Signatur
 - Herkunft durch URL-Spoofing-Angriffe ggf. fälschbar
 - ➔ stärkere Authentifikationsmaßnahmen oder sichere Transportprotokolle könnten helfen
 - ◆ Prüfung der Signaturen auf Basis der rechnerlokalen Schlüsseldatenbank

G.5 Sicherheit der Systemschnittstelle

1 Motivation

- Angriffe auf Programmcode sind nur problematisch, wenn sie *Auswirkungen* haben
 - ➔ Auswirkung bedeutet Interaktion mit der Umgebung
 - Mitteilung verfälschter Resultate
 - falsches Verhalten (= falsche Interaktion)
- Interaktion mit der Umgebung erfolgt über Betriebssystemschnittstellen
 - Dateisystem, Geräte, Netzwerk
 - Interprozesskommunikation
- Fundamentales Schutzkonzept: Sicherung der Betriebssystemschnittstelle

2 allgemeine Konzepte

- bekannte und weit verbreitete Konzepte
 - Zugriffsrechte / Access Control Listen
 - Capabilities
- Problem: Absicherung über eine Vielzahl von Systemkomponenten verteilt
 - Dateisystemschnittstelle (open, read/write, fcntl, ...)
 - Interprozesskommunikation / Netzwerkschnittstelle (bind, IPC, ...)
 - Prozessverwaltung (exec, Signale, ...)
- Betriebssysteme enthalten meist viele umfangreiche Systemkomponenten
- ➔ konsistentes Schutzkonzept nur schwer zu erreichen
 - ◆ und noch schwerer auf Dauer konsistent zu halten
 - wesentliche Ursache für viele Sicherheitslücken

3 Referenzmonitore

- Idee: alle sicherheitskritischen Systemaufrufe gehen zur Sicherheitsüberprüfung durch eine spezielle Systemkomponente
 - **Referenzmonitor**
 - siehe auch: Sandbox-Konzept
- Grundlegendes Konzept: **Trusted Computing Base (TCB)**
= der minimale Teil des Systems, der notwendig ist, um alle Sicherheitsregeln durchzusetzen
 - Großteil der Hardware (vgl auch Kap. D7 Trusted Computing)
 - Teil des Betriebssystems (möglichst minimal)
 - privilegierte Anwendungsprogramme (möglichst wenige)
- Betriebssystemteil der TCB
 - Referenzmonitor
 - Prozessorzeugung/-umschaltung, IPC, Teile der Geräteschnittstelle

G.6 Beispiel: Sicherheitskonzept in Symbian OS

1 Symbian-Überblick (www.symbian.org)

- Betriebssystem für mobile Geräte
 - Weiterentwicklung aus EPOC-System von Psion
 - Nokia, Ericsson, Sony Ericsson, Panasonic, Siemens, Samsung
 - seit Herbst 2010 nur noch Nokia
 - ab 2011 Weiterentwicklung im Rahmen eines Artemis-EU-Projekts
 - ➔ SYMBEOSE - Symbian the Embedded Operating System for Europe
- Struktur
 - Minimalkern-Architektur (Scheduler, Speicherverwaltung, Gerätetreiber)
 - Basisdienste (Basis-Anwendungsschnittstelle, Dateisystem, Plug-In-Framework, kryptographische Funktionen, ...)
 - höhere Betriebssystemdienste (Netzwerk, Telefonie, Multimedia, ...)
 - Anwendungsunterstützung (Java ME)
 - User Interface Framework

1 Symbian-Überblick (2)

- Zielplattform
 - Mobiltelefone mittlerer "Größe"
 - Stückzahlen: 10 - mehrere 100 Mio.
 - unterstützte Prozessorarchitektur: ARM
 - Programmiersprache: vor allem C++ (Entwicklungsumgebung mit speziellem gcc)
- Systemziel
 - Plattform für Basissoftware
 - + Plattform für Produkte unabhängiger Softwarehersteller (ISVs - Independent Software Vendors)

1 Symbian-Überblick (3)

- Herausforderung: Sicherstellen der Systemsicherheit
 - ◆ APIs sind dokumentiert, bis Version 8.1 war Softwareentwicklung für jedermann möglich
 - fehlerhafte Programme
 - böartige Programme
 - Viren, Trojaner, ...
 - ◆ System ist weit verbreitet und damit ideale Grundlage für Angriffe
- ➔ erster Wurm/Virus 2004: Cabir
 - erster verbreiteter Angriff auf Mobiltelefone
 - Ausbreitung über Bluetooth-Schnittstelle
 - Schwachstelle war nicht Symbian sondern der jeweilige Benutzer (Benutzer mussten der Installation zustimmen)

2 Plattform-Sicherheit ab Symbian 9.1

- Hauptschwachstelle des Systems = der Benutzer
- ➔ zur Verbesserung der Sicherheit muss vor allem die Hauptschwachstelle des Systems beseitigt werden :-)
- ➔ sicherheitskritische Entscheidungen können nicht "einfach" dem Benutzer überlassen werden
 - ◆ Zustimmung zur Installation "leicht sicherheitskritischer" Software expliziter gestalten
 - Software muss grundsätzlich signiert sein
 - ◆ Entscheidung über "erheblich sicherheitskritische" Software an den Gerätehersteller oder eine zertifizierende Stelle übertragen
 - Anwender kann nicht frei Software auf seinem Gerät betreiben
- ★ umstrittenes Konzept
 - sehr guter Schutz von Anwendungen und Inhalten
 - Eingriff in die Rechte der Endnutzer

3 Capabilities

- Vergabe an Prozesse auf Basis von Code-Autorisierung
- mehrere Klassen von Systemschnittstellen und Capabilities
- ▲ User Capabilities
 - erlauben Zugriff auf
 - lokale Netzwerkschnittstellen (Bluetooth, Infrarot)
 - Positionsdatenabfrage
 - kostenverursachende Netzwerkdienste (SMS, ...)
 - vertrauliche Daten des Telefonnutzers (lesend und schreibend)
 - Benutzerumgebungsdaten (Audi, Video, biometrische Daten, ...)
 - Anwendung muss "Symbian Signed" sein oder Benutzer muss bei Installation bzw. bei jedem Zugriff auf eine Schnittstelle explizit zustimmen

3 Capabilities (2)

- ▲ Extended Capabilities
 - Anwendung wird für diese Zertifizierung zusätzlichen Tests unterzogen
 - Anwendung muss "Symbian Signed" sein, Endnutzer kann die Capabilities nicht vergeben
 - erlauben Zugriff auf weitere, systemnähere Schnittstellen
 - Power Management (Ausschalten ungenutzter Peripherie, Stand-by-Mode, Telefon ausschalten)
 - Registrierung privilegierter Dienste (protected servers)
 - Zugriff auf Gerätedaten (lesend und schreibend)
 - Erzeugen von Tasten- und Stift-Ereignissen per Software
 - Erzeugen von vertrauenswürdigen Benutzerinteraktionen (UI sessions)

3 Capabilities (3)

- ▲ Phone-manufacturer approved Capabilities
 - Anwendung muss vom Gerätehersteller zertifiziert sein
 - erlauben den Zugriff auf die komplette Systemschnittstelle
 - komplettes Dateisystem
 - alle Gerätetreiber (vor allem Kommunikation, Multimedia)
 - Disk Administration
 - Zugriff auf geschützte Inhalte (DRM)
 - TCB-Capability: Zugriff auf Programme und read-only Ressourcen
 - ◆ Symbian TCB
 - Komponenten, die freien Zugriff auf die komplette Hardware und Software haben
 - Kern, Datei-Server, Software-Installer
 - ◆ Symbian TCE (Trusted Computing Environment)
 - weitere sicherheitskritische Systemkomponenten (extended oder phone-manufacturer approved Capabilities erforderlich)

4 Entscheidungen des Benutzers

- ▲ User-Grantable Permissioning
 - ◆ Gerätehersteller kann einzelne Capabilities "user-grantable" markieren
 - ◆ Recht kann bei der Installation oder Ausführung durch Benutzer erteilt werden
 - Blanket permission
 - Benutzer wird bei Installation einer Anwendung gefragt, ob das Recht grundsätzlich erteilt werden soll
 - Single shot permission
 - Benutzer wird bei jeder Anwendungsausführung gefragt

5 Identifikation von Programmen

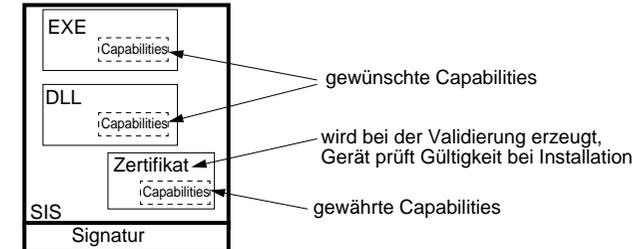
- Capabilities spezifizieren Rechte für den Inhaber
 - Schnittstelle kann den Inhaber nicht mehr identifizieren
- Problem: wie kann man z. B. den Zugriff auf bestimmte Daten auf Software eines bestimmten Herstellers beschränken?
- ➔ UID-Konzept für Programme – zusätzlich zu den Capabilities
 - ◆ SID (Secure Identifier)
 - eindeutige Id für ein Programm
 - erlaubt zusätzlichen Schutz von Systemschnittstellen (z. B. Dateisystem)
 - SID-Bereiche werden an Software-Entwickler vergeben und können beim Signieren überprüft und mit signiert werden (protected UID)
 - ◆ VID (Vendor Identifier)
 - erlaubt Identifikation des Softwareherstellers
 - ◆ SID und VID werden auch im Rahmen von IPC übermittelt

6 Einfluss von Capabilities auf Systemschnittstellen

- eingeschränkter Zugriff auf Systemschnittstellen des TCE
 - Anwendungen müssen bei der Erzeugung mit den notwendigen Capabilities versehen werden
 - Software-Installer prüft, ob bei signierten Anwendungen die angeforderten Capabilities mit den im Datei-Header festgelegten Capabilities übereinstimmen
 - Zertifikat-Kette wird bis Wurzel zurückverfolgt
 - Zertifikate können zurückgezogen werden
- Dienstprogramme prüfen Capabilities wenn ihre Schnittstellen aufgerufen werden
- Capabilities sind Programmen zugeordnet
 - Prozess erhält sie beim Laden des Programms (.EXE-Datei)
 - Bibliotheken (.DLL-Dateien) können nur in einen Prozess eingebunden werden, wenn sie für alle Capabilities des Prozesses autorisiert sind
 - Capabilities werden generell dem Quellcode zugeordnet und können nach dem Compilieren nicht mehr verändert werden

7 Zertifizierung

- Aufbau installierbarer Dateien (.SIS-Dateien)



- Zertifikate
 - Publisher-Zertifikat: identifiziert den Software-Entwickler
 - Hash zur Verhinderung von Manipulationen
 - Unabhängige Prüfung → Content-Zertifikat (*chain of trust* zum Symbian Root-Zertifikat auf dem Gerät)

8 Probleme, Sicherheitslücken

- Symbian-Architekturkonzept erhöht die Sicherheit der Systeme grundsätzlich deutlich
 - es bleiben aber immer noch Schwachstellen
- Hersteller-zertifizierte Software
 - Sicherheitslücken in solcher Software kompromittieren das ganze System
 - Beispiel (2008): Nokia Debugger
 - erlaubte Zugriff auf den Speicher
 - ➔ maximale Rechte konnten durch durch Setzen eines Bits in der Prozessdatenstruktur an beliebige Anwendungen vergeben werden
 - Lösung: Debugger schreibt nicht mehr in alle Speicherbereiche, neue Firmware verhindert Installation des alten Debuggers
- Betriebssystem selbst
 - unkontrollierte Pufferüberläufe erlaubten Angriffe und damit das Erlangen maximaler Rechte (2008)

G.7 Linux/Posix-Capabilities

- Rechte in UNIX-Systemen sehr grob-granular
- zu häufig Root-Rechte erforderlich
- Linux-Capabilities erhöhen die Flexibilität
 - zusätzliche Rechte für nicht-Root-Prozesse (z. B. Binden von Port-Nummern < 1024 oder Zugriff auf raw-Sockets)
 - eingeschränkte Rechte (z. B. Nutzung von Systemaufrufen wie `setuid`, `kill`, `chown`, ... verbieten)