B4B35OSY: Operační systémy

Android

Michal Sojka[1]

17. prosince 2020

[1]michal.sojka@cvut.cz

Obsah I

Mobilní OS

- Dřívější OS byly jednodušší než desktopové OS
  - Symbian OS (Nokia), Windows CE, …
- Dnes jsou mobily výkonné jako notebooky před pár lety
  - Mobilní OS jsou upravené verze desktopových
  - Android, iOS, (Windows Mobile)
- Tato přednáška bude převážně o OS Android, což je
  - Mobilní OS od Googlu (částečně open source)
  - Linuxové jádro (trochu změněné)
  - Jiný user space než mají běžné Linuxové distribuce (Ubuntu, Fedora, …)

Čím se mobilní OS liší od „normálních“ OS?

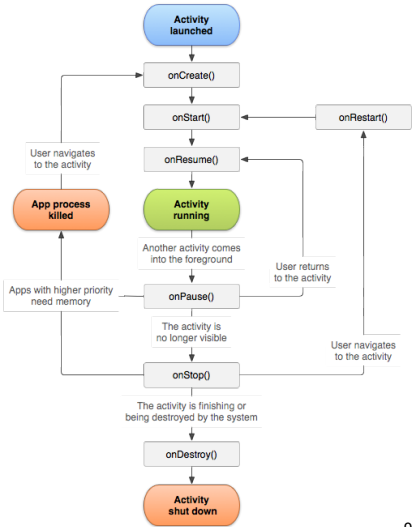
- Vše, co jsme probírali v předchozích přednáškách platí i pro mobilní OS:
  - Procesy/vlákna, synchronizace, správa paměti, IPC, ovladače, souborové systémy, grafika, …
- To, co dělá mobilní OS mobilním jsou komponenty/knihovny/frameworky na vyšších úrovních
- Většina lidí pod pojmem „mobilní aplikace“ rozumí pouze tuto vyšší úroveň (tj. UI, design, …)
- V této přednášce si zkusíme ukázat, jak některé vysokoúrovňové koncepty mobilních aplikací souvisí s nízkoúrovňovými záležitostmi probíranými dříve
- Podíváme se na některé komponenty či koncepty a ukážeme si, jak se liší od podobných komponent/konceptů v desktopových/serverových OS
  - Android vs. Linux na desktopu/serveru
  - Android se velmi rychle mění – ne vše, co je v této přednášce platí přesně pro poslední verze a/nebo všechny výrobce

Aplikace

- Aplikace se skládá z
  - kódu
  - zdrojů (resources) – obrázky apod.
  - manifest – popis aplikace
  - …
- Kód
  - Většinou vyšší programovací jazyk (Java, Kotlin)
  - Může obsahovat i nativní kód (např. C/C++) volaný skrze Java Native Interface (JNI)
- App manifest
  - Jméno aplikace + ikona + popis
  - Seznam aktivit (+ intent filters), služeb, atd. a jejich implementaci (tříd)
  - Oprávnění, která aplikace potřebuje
  - Požadavky na HW a SW (např. minimální verze Androidu)

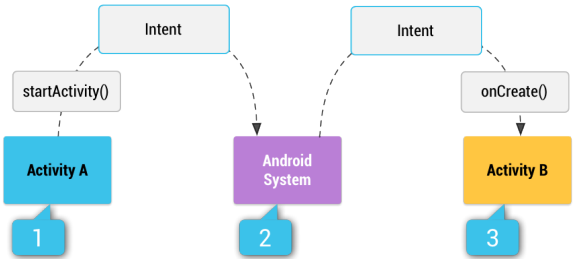
Aktivita

- Třída reprezentující jednu obrazovku
- Nejedná se o „imperativní“ kód, který běží od začátku do konce, ale o komponenty, které jsou volány (callback) různými frameworky (nižšími vrstvami).
- Programátor nemá kontrolu nad tím, kdy bude proces aplikace spuštěn a ukončen
  - Např. když je málo paměti
- Aktivity se spouští/přepínají tzv. intenty, což je forma meziprocesní komunikace



Intent

- Žádost o provedení akce v jiné komponentě
  - Např. spuštění aktivity
- Explicitní – je přesně řečeno, která aplikace akci provede
- Implicitní – uživatel si může vybrat aplikaci (např. otevření webové stránky)



Linux/UNIX

Filesystem Hierarchy Standard (FHS)

- Specifikuje hierarchii a obsah adresářů Linuxových distribucí
- Jedna aplikace je „rozprostřena“ do mnoha různých adresářů (s výjimkou `/opt`)
  - /bin – programy, UNIXové příkazy (dnes často symlink do /usr/bin)
  - /boot – soubory potřebné pro boot systému (jádro, initramfs)
  - /dev – pseudosoubory pro komunikaci s ovladači
  - /etc – konfigurace systému a jednotlivých programů
  - /home – domovské adresáře uživatelů
  - /lib – knihovny
  - /media – přípojná místa pro externí média (USB flash, CDROM, …)
  - /mnt – dočasně připojené souborové systémy (např. síťové)
  - /opt – adresáře pro aplikační software – co adresář, to aplikace
  - /proc – virtuální souborový systém a informacemi o procesech a jádru
  - /root – domovský adresář správce systému
  - /run – RAM disk pro běhová data (zmizí po vypnutí systému)
  - /sbin – programy pro správce systému
  - /srv – data poskytovaná daným systémem (např. webovými servery)
  - /sys – virtuální souborový systém s informacemi o zařízeních apod.
  - /tmp – adresář pro dočasné soubory
  - /usr – podobná hierarchie jako v „/“ pro read-only data
  - /var – proměnné soubory (logy, mailboxy, data programů `/var/lib`, …)

Android

Partitions

- boot – obsahuje jádro a počáteční RAM disk (initramfs)
- cache – cache pro stáhování aktualizací systému
- recovery – jádro a jiný initramfs pro obnovu systému
- system – `/system`
- userdata – `/data`

Souborový systém

- Je tvořen initramfs do kterého jsou připojeny (mount) adresáře z flash
  - /init – init proces (viz dále)
  - /sbin – kritické programy jako např *adbd*, *healthd* a *recovery*
- Připojené adresáře
  - striktní oddělení systému a dat
  - /system – systémové komponenty Androidu – read-only
  - /data – uživatelská data
    - nejsou přemazána když se aktualizuje systém
    - lze je šifrovat

Android – hierarchie, obsah

/system

- /app – systémové aplikace (od Googlu či výrobce zařízení)
- /bin – nativní programy (dalvikvm, vold, …), ladicí nástroje (adb, …), UNIXové příkazy (cp, ls, …), atd. ls, …)
- /etc – konfigurace
- /fonts
- /framework – Javová část Androidy (.jar, .odex)
- /lib – nativní knihovny
- /media – zvuky, animace, …
- /prov-app – Privileged Application
- /usr – Support file (keyboard mappings, …)
- /vendor
- /xbin – další systémové programu, většinou pro ladění (strace, tcpdump, nc, …)

/data

- /app – balíky `.apk` instalovaných aplikací
- /backup
- /dalvik-cache
- /data – aplikace si tam mohou uchovávat svá data (viz níže)
- /media – připojená SD karta
- /misc – konfigurace, klíče, …
- /property – uložené „vlastnosti“, které přežijí reboot
- /user – pro podporu více uživatelů
- /system
- …

/data/data

- /com.android.providers.calendar – obsahuje `databases/calendar.db`
- /com.android.providers.contacts – obsahuje `databases/contacts2.db`
- /com.android.chrome …
- …

Uživatelé

- Android používá systémové „uživatele“ (UID) jinak, než běžné Linuxové distribuce
- Každá aplikace běží s právy jiného uživatele (UID tedy identifikuje aplikaci, ne uživatele)
- Tím je (mimo jiné) zajištěna ochrana dat jedné aplikace před ostatními
- Některá zařízení/verze Androidu podporují více uživatelů (lidí) – každému uživateli je přiřazeno 100000 UID (může tedy nainstalovat 100000 aplikací).

Init proces

- V UNIXových OS je `init` první proces, který je spuštěn po zavedení jádra OS
  - Něco jako `user/hello` v naší verzi OS NOVA
- Jeho úkolem je:
  - Připojit potřebné souborové systémy
  - Spustit severy a daemony potřebné pro běh systémů
  - Spustit proces(y), které umožní lokální přihlášení uživatele (`getty` pro textovou konzoli, *display manager* pro grafické přihlášení)
  - Adoptovat procesy, jimž umře rodič

SysV init

- *UNIX System V (system five)* je jedna z verzí komerčího UNIXu od AT&T (1983)
- Init proces je vytvořen spuštěním `/sbin/init`
- Načte `/etc/inittab` a vykoná, co je tam napsáno

- Runlevel = co se má spustit při bootování vypínání
- Vždy se spustí skript `rcS` – základní inicializace a služby systému
- Poté se spustí skript `rc <N>`, který spustí další služby (webový server, grafický login, …)
- Getty (textový login) se spustí v runlevelech 2–5 a při ukončení se spustí znovu

Example (/etc/inittab:)

```
id:2:initdefault:
si::sysinit:/etc/init.d/rcS

# Runlevel 0 is halt.
# Runlevel 1 is single-user.
# Runlevels 2-5 are multi-user.
# Runlevel 6 is reboot.
l0:0:wait:/etc/init.d/rc 0
# …
l5:5:wait:/etc/init.d/rc 5
l6:6:wait:/etc/init.d/rc 6

1:2345:respawn:/sbin/getty 38400 tty1
```

SysV init – pokračování

- `respawn` v *inittab* aktivuje „monitorování procesu“ a restartuje proces např. v případě nečekaného pádu
- SysV init se mnohdy často používá v případě jednoduchých „embedded“ zařízení, kdy v systému běží jen pár služeb

Skripty `rc` a `rcS`

- Spouští ostatní služby na základě tzv. *init skriptů* (někdy také *rc skriptů*)
- Jednoduchá implementace `rcS` sekvenčně spouští skripty z adresáře `/etc/rcS` začínající na „S“ (start) nebo „K“ (kill):

```
for i in /etc/rcS.d/S??*; do $i start; done
```

- Příklad jmen init skriptů: `S01hostname`, `S02udev`, `S15networking`
- Často to jsou pouze symbolické odkazy na skripty v adresáři `/etc/init.d`
  - `/etc/rcS.d/S15networking -> /etc/init.d/networking`
  - `/etc/rc0.d/K08networking -> /etc/init.d/networking`

Problémy

- Řešení závislostí mezi službami pořadím startování
- Paralelní spouštění služeb (multi-core CPU)
- Monitorování a restart havarovaných služeb
- … vše se dá řešit pomocí různých „nadstaveb“, ale …

Příklad jednoduchého init skriptu

Example (S40network)

```
#!/bin/sh

mkdir -p /run/network

case "$1" in
  start)
        printf "Starting network: "
        /sbin/ifup -a
        [ $? = 0 ] && echo "OK" || echo "FAIL"
        ;;
  stop)
        printf "Stopping network: "
        /sbin/ifdown -a
        [ $? = 0 ] && echo "OK" || echo "FAIL"
        ;;
  restart|reload)
        "$0" stop
        "$0" start
        ;;
  *)
        echo "Usage: $0 {start|stop|restart}"
        exit 1
esac

exit $?
```

systemd

- Moderní init systém pro Linux
- Řeší většinu problémů SysV init (a přináší jiné problémy)
- Umožňuje popsání závislostí mezi službami => paralelní spouštění
- Aktivace pomocí socketů – viz „Socket activation“ dále
- Snadné nastavení zabezpečení služeb a přidělování zdrojů
  - Např. omezení množství paměti a CPU pro danou službu
  - Toto implementuje linuxové jádro; `systemd` umožňuje pouze snadnou konfiguraci

Watchdog

- Možnost periodické komunikace se službou
- Pokud se služba dlouho nehlásí, systemd ji restartuje

Popis služby pro systemd (.service file)

```
[Unit]
Description=Deferred execution scheduler
Documentation=man:atd(8)
After=remote-fs.target nss-user-lookup.target

[Service]
ExecStart=/usr/sbin/atd -f
IgnoreSIGPIPE=false
KillMode=process
Restart=on-failure

[Install]
WantedBy=multi-user.target
```

Socket activation

- Co to je?
  - Elegantní řešení závislostí bez nutnosti jejich explicitního popisu
  - Služby jsou startovány jen/až když je někdo potřebuje
- Závislosti
  - Servery často poskytují své služby pomocí socketů (UNIX, TCP/localhost, …)
  - Pokud služba (proces) A potřebuje něco od služby B, připojí se k socketu služby B a pošle požadavek.
    - Může se stát, že B také potřebuje něco od A. Kterou službu spustit jako první?
- Základní myšlenka:
  1. Vytvořit sockety všech služeb (ale ne jejich procesy)
  2. Pokud se někdo k socketu připojí, spustit proces a předat mu už „existující“ socket
- Implementace:
  - Služba nevytváří socket sama, ale nechá to na *systemd* (konfigurační soubor).
  - Při spuštění služba „zdědí“ socket od *systemd* (`fork()`, `exec()`), který jí sdělí, který file descriptor odpovídá socketu
  - Služba tedy nedostane od „systému“ jen stdin, stdout a stderr, ale i socket, kterým klienti posílají požadavky

Android init

- Vzdáleně podobný SysV init
- Obsahuje navíc „System Properties“
- Místo `/etc/inittab` má `/init.rc`, `/init.usb.rc/` apod.
- Nemá „runlevely“, ale umí spouštět služby na základě „triggers“ a „system properties“
  - např. při změně property se spustí/restartuje služba – podobné jako `launchd` v iOS)
  - Příklad změny property: Připojení k nabíječce, připojení USB, …
- Služby jsou automaticky restartovány, pokud nejsou nakonfigurovány jako `oneshot`.
- Pokud je služba označena jako `critical` a nejde restartovat, je restartováno celé zařízení
- Podpora socket activation pro UNIX sockety
- Specifické *rc skripty*
- S jinou konfigurací funguje jako `ueventd` (další služba v OS Android)

System properties

- Jsou uloženy v několika souborech (dané výrobcem `/system/default.prop`, persistentní `/data/propery/persist*`, …)
- Přístup k properties přes `/dev/socket/property_service`, kontrola přístupu podle UID, možnost mapování do paměti (`mmap`).
- Příklady „properties“:
  - wlan.driver.status, net.hostname, sys.boot_completed, net.dns1, …

.rc soubory

Example (`init.rc` – zkráceno)

```
on boot
    ifup lo
    hostname localhost
    domainname localdomain
    write /proc/sys/net/core/xfrm_acq_expires 3600
service ueventd /system/bin/ueventd
    class core
    critical
    seclabel u:r:ueventd:s0
    shutdown critical
service console /system/bin/sh
    class core
    console
    disabled
    user shell
    group shell log readproc
    seclabel u:r:shell:s0
    setenv HOSTNAME console
on property:ro.debuggable=1
    # Give writes to anyone for the trace folder on debug builds.
    # The folder is used to store method traces.
    chmod 0773 /data/misc/trace
    # Give reads to anyone for the window trace folder on debug builds.
    chmod 0775 /data/misc/wmtrace
    start console
```

Zygote

- Jedním z procesů spouštěných procesem `init` je tzv. `zygote` (uložen v `/system/bin/app_process`)
- Urychluje spouštění aplikací
- Spustí Dalvik Virtual Machine a načte všechny frameworky (třídy) OS android
- Zastaví se těsně před „načtením“ hlavní třídy aplikace, otevře `/dev/socket/zygote` a čeká na požadavky
- Přicházející požadavky obsahují jméno třídy aplikace
  - Zygote zavolá `fork()` a načte třídu aplikace
  - Fork používá mechanismus copy-on-write
  - Tímto způsobem se velmi rychle vytvoří proces aplikace, protože vše (JVM, frameworky, …) už je nainicializované

Nízkoúrovňová IPC

Obecně (v UNIXu/Linuxu)

- roura (pipe)
  - přenášení proudu dat mezi dvěma procesy jedním směrem
- UNIX socket
  - přenášení dat (proud nebo zprávy) mezi dvěma procesy (obousměrné)
  - může, ale nemusí být vidět v souborovém systému (např. `/run/cups/cups.sock` pro komunikaci s tiskovým serverem CUPS)
  - lze přenášet i „file descriptory“ (FD) mezi různými procesy
    - Příklad: Privilegovaný proces otevře soubor a pošle FD jinému procesu, který soubor sám otevřít nemůže.

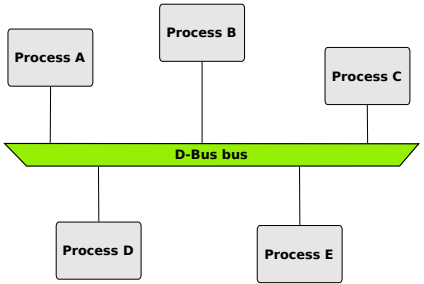
Remote Procedure Call (RPC)

Obecně

- Možnost volat funkce/procedury ve vzdáleném procesu
- Princip:
  1. Při zavolání funkce se provede serializace parametrů (převod dat v paměti do formátu pro komunikaci) a odešle se žádost (data) cílovému procesu (např. pomocí socketu).
  2. Cílový proces data deserializuje, zjistí jakou funkci má zavolat a zavolá ji
  3. Pokud funkce něco vrací, výsledek se serializuje a odešle zpět.

DBus (Desktop Linux)

- Mnoho aplikací potřebuje komunikovat na vyšší úrovni než posílání zpráv
  - Publish/subscribe
  - Komunikace jednotlivých objektů/komponent uvnitř aplikací
  - Nechce řešit, který socket použít pro danou aplikaci (v jakém procesu se nachází atd.)
  - …
- DBus je systémový démon, který umožňuje aplikacím komunikovat na vyšší úrovni
- Aplikace si mohou definovat objekty, ptát se na objekty v jiných aplikacích, žádat o notifikace na změny v jiných aplikacích apod.



Android Binder

- Poskytuje RPC
- Narozdíl o DBus je implementován v jádře
- `/dev/binder`
- Služby:
  1. Hledání cílového procesu
  2. Přenos zpráv
     - Android Interface Definition Language (AIDL) – generuje kód, který převádí volání funkcí na komunikaci pomocí Binderu (serializace/deserializace)
     - Blokující (`ioctl(BINDER_WRITE_READ)`)
  3. Přenos objektů
     - file descriptory
  4. Důvěryhodné ověření zdroje
     - adresát ví, kdo mu zprávu poslal (PID, UID)

Dalvik VM

- Implementace Java VM od Googlu
- Aplikace se kompilují „just-in-time“ (JIT) překladačem do nativního kódu (výsledky se cachují)
- Dalvik má různé problémy – novější verze přecházejí na ART, kde se používá Ahead-of-time (AOT) kompilace

system_server

- Proces, kde různé systémové služby běží jako vlákna
- Podobný `svchost.exe` z Windows (služby jsou nahrávány z DLL knihoven)
- Psaný v Javě, služby jsou třídy v Javě
- Po inicializaci je spuštěna hlavní smyčka, která čeká na požadavky z jiných procesů a předává je službám
- Poskytované služby:
  1. Bootstrap: Installer, ActivityManager, PowerManager, DisplayManager, PackageManager, UserManager
  2. Základní (Core): Lights, Battery, UsageStats, WebViewUpdate
  3. Ostatní: …

Reference

- Jonathan Levin, *Android Internals: A Confectioner's Cookbook*, Technologeeks.com, 2015, `http://newandroidbook.com/`