

Линукс курс 2022/2023

Raspberry Pi рачунар

Упознавање, повезивање и покретање Линукс оперативног система на различите начине

Увод

Рачунари се према фон Нојмановом моделу састоје од процесора, меморије и улазно-излазног подсистема који су међусобно повезани. У меморији се, поред података који се обрађују у процесору, складиште и програми састављени од низа елементарних инструкција. Током рада рачунара, подаци и програми се преносе између меморије и процесора. Данас, поред стоних, пресносних и осталих рачунара, постоје и различити вишенаменски уређаји који су прављени у складу са фон Нојмановом архитектуром, попут паметних телефона и таблета.

На тржишту се почетком 2012. године појавио рачунар Raspberry Pi који задовољава све критеријуме рачунара фон Нојмановог типа. Поседује чип BCM2835 са ARM11 процесором и RAM (енг. Random-Access Memory) меморију, као и могућност повезивања са осталим помоћним компонентама, чак и оним нестандартним преко GPIO (енг. General-Purpose Input/Output) порта. Оно што га чини интересантним је да је у питању рачунар опште намене приступачан по цени, малих димензија 8,6cm x 5,4cm x 1,7cm, са могућношћу прикључивања нестандартне опреме. Цена зависи од модела. Настанак рачунара Raspberry Pi имао је за циљ промоцију рачунарских наука код младих.

Настанак рачунара Raspberry Pi

Идеја о малом и приступачном рачунару јавила се 2006. године, када су Роб Мулинс, Ебен Аптон, Џек Ланг и Алан Мајкрофт са Универзитета у Кембриџу постали забринути нивоом предзнања студената који су се пријављивали за рачунарске науке. За разлику од 1990. године када је већина кандидата имала солидно предзнање из области програмирања, 2000. године је просечан кандидат имао мало знања о програмирању.

Закључили су да се формирала армија информатичара са врло мало практичног програмерског знања потребног за исправно решавање конкретних изазова. Они су имали искуства у коришћењу кућног рачунара или конзоле за игру и забаву. Искуство стечено свакодневним корисничким радом на рачунару давало им је лажну слику о личном знању из области рачунарских наука. Претходне генерације

Линукс курс 2022/2023

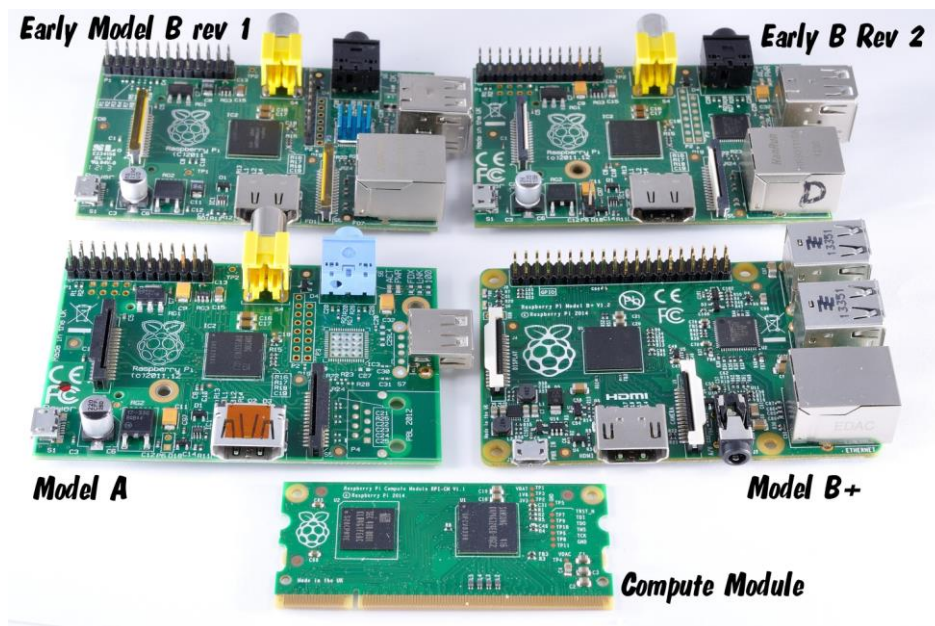
училе су програмирање на легендарним Спектрум, Комодор64 или Амига рачунарима, који су осим могућности забаве обезбеђивали и солидно окружење за писање првих програма. Због тога су дошли на идеју да направе нешто што је ученицима приступачно по цени, а пружа окружење спремно за писање програма. Од 2006. до 2008. године дизајнирано је неколико верзија од којих је настао рачунар Raspberry Pi. Када су се 2008. године појавили процесори који су могли да се користе за мобилне уређаје, приступачни по цени и довољно снажни да обезбеде добру подршку графичком окружењу, постало је извесно да ће пројекат заживети.

Када се на тржишту појавио први примерак рачунара Raspberry Pi, својим изгледом и могућностима привукао је велику пажњу, како у области обуке програмера, тако и код ентузијаста. Пошто је сам уређај изазвао велику пажњу, на тржишту постоји много адекватне пратеће опреме, а на Интернету је објављено мноштво конкретних објашњења и практичних упутстава за коришћење.

Модел рачунара Raspberry Pi

Историјски гледано, постоји 5 модела рачунара Raspberry Pi. Нема суштинске разлике у архитектури између ових модела. Нови модели су настали као одговор на добро формулисане захтеве за променама на постојећим моделима, добијене од стране самих корисника. Разлике се огледају у типу процесора, количини постојеће RAM меморије, у броју и врсти прикључака који се налазе на плочи уређаја и распореду компоненти на плочи. Сама чињеница да постоје потребе за променама на моделима указује да је настанак једног таквог рачунара био прави потез. Корисницима је остављена могућност да сами одаберу модел који им по особинама и функционалности највише одговара у складу са конкретним потребама.

Линукс курс 2022/2023



Слика 1 Модели рачунара Raspberry Pi

Модел Б ревизија 1 се појавио у фебруару 2012. године. На плочи има чип BCM2835 на коме се налазе: ARM11 процесор на 700 MHz и VideoCore IV GPU (енг. Graphics Processing Unit). Поред чипа на плочи се налазе 256MB RAM меморије, HDMI (енг. High-Definition Multimedia Interface) излаз, композитни RCA (енг. Radio Corporation of America) видео, стерео аудио 3,5mm, два USB (енг. Universal Serial Bus) и један мрежни прикључак.

У септембру 2012. године појавио се **модел Б ревизија 2**, који у односу на модел Б ревизија 1 има два пута више RAM меморије. Између ова два модела постоји мала разлика у распореду пинова на GPIO порту о чему се мора водити рачуна приликом писања програма за одређени модел. Новији модел је нашао употребу у образовању и као подршка за озбиљније пројекте у кући и лабораторији.

Линукс курс 2022/2023



Слика 2 Модел B rev2

Модел А је настао у фебруару 2013. године. Он је поједностављена, а самим тим и јефтинија верзија претходних модела. Поседује само 256MB RAM меморије, један USB прикључак и нема мрежни прикључак. Због малог броја прикључака довољно му је и слабије напајање, те се најчешће користи за пројекте у којима се обрађује конкретан проблем. На пример, уколико је потребан кућни медија центар повезан са телевизором, модел А са USB WiFi бежичним прикључком је сасвим довољан за реализацију таквог пројекта. Недостатак другог USB прикључка могуће је превазићи USB разделником (енг. hub) који има сопствено напајање, а недостатак мрежног прикључка употребом USB WiFi бежичног прикључка. Једини изазов који преостаје је количина расположиве RAM меморије која је константна и не може се повећати.



Слика 3 Модел А

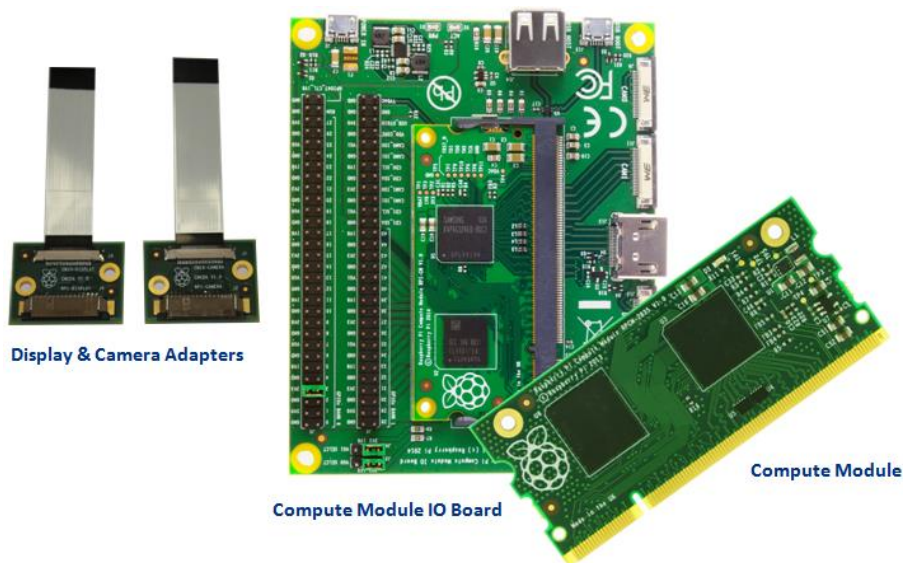
Модел Б+ се појавио у јулу 2014. У односу на претходни модел Б ревизија 2 уместо 26 пинова на GPIO порту има 40 пинова, уместо два има четири USB 2.0 прикључка, уместо SD користи микро SD меморијску картицу. Услед замене одређених компоненти троши мање струје тако да је продужено време рада са батеријом и има побољшану толеранцију на пад напона. Композитни видео и стерео аудио прикључак су спојени у један, што је елегантније и практичније решење, а уједно је и побољшан квалитет аналогног звучног сигнала. Распоред прикључака је такав да се каблови који воде до њих сада налазе само са две стране уређаја. На плочи има четири места (рупе за шrafoве) намењена монтажи.



Слика 4 Модел Б+

Compute module развојни пакет се појавио у јуну 2014. године и намењен је свима који желе да изађу из оквира који нуди стандардни рачунар Raspberry Pi. Састоји се из картице и основне плоче која повезује картицу са периферним уређајима. На картици се налазе процесорски чип BCM2835, 512MB RAM и 4GB eMMC (embedded Multi-Media Controller) меморије. eMMC меморија је еквивалентна меморијској картици истог капацитета која се користи на стандардним Raspberry Pi рачунарима. Картица задовољава стандард DDR2 SODIMM (Double Data Rate 2, Small Outline Dual In-line Memory Module) прикључка преко којег се повезује са плочом на којој се налазе прикључци за остале уређаје. У развојном пакету, поред цомпите модул картице добија се и једна основна штампана плоча димензија 67,6 mm x 30 mm која, поред прикључака за периферне уређаје, на себи има стандардни DDR2 SODIMM прикључак преко кога се омогућава рад са картицом. За цомпите модул картицу је могуће конструисати

посебну плочу на којој се налазе прикључци за периферне уређаје, једини услов је да на плочи постоји место за DDR2 SODIMM картицу. Наведени модел је најподеснији за осмишљавање и конструкцију малих уређаја специјалне намене.



Слика 5 Compute module

Raspberry Pi 2 Модел Б представља **другу генерацију платформе** која се појавила у фебруару 2015. Нови модел је донео и значајно побољшање перформанси. Raspberry Pi 2 је чак 6 пута бржи од свог претходника. Нови Raspberry Pi 2 Модел Б је истог формата као претходни Raspberry Pi модел Б+ али са дупло више RAM меморије и знатно бржим процесором. Овај рачунар величине кредитне картице је у могућности да обавља многе послове као и стони рачунар, на пример да покрене програме за табеларне калкулације, обраду текста, преко њега може да се сурфује интернетом и чак одигра нека игра у HD формату. Подржава неколико верзија Линукса као и бесплатну верзију Виндоус 10 оперативног система (не пуну верзију као за стони рачунар).

Линукс курс 2022/2023



Слика 6 Raspberry Pi 2 Модел Б

Raspberry Pi Zero се појавио у новембру 2015 као два пута мањи модел од старог модела А+ и два пута бољим карактеристикама, изузетно пиступачан поцени од \$5. Иако са ограниченим могућностима, ипак је довољан, а свакако приуштив за било који пројекат:

1Ghz, Single-core CPU

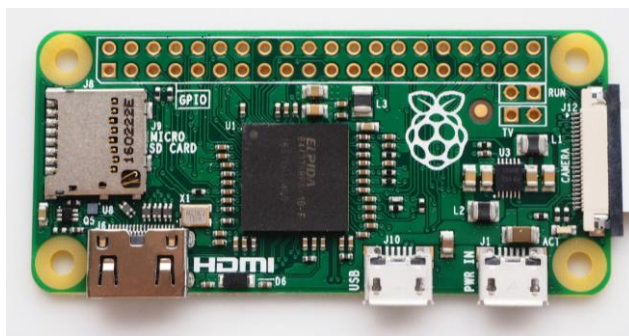
512MB RAM

Mini HDMI and USB On-The-Go ports

Micro USB power

HAT-compatible 40-pin header

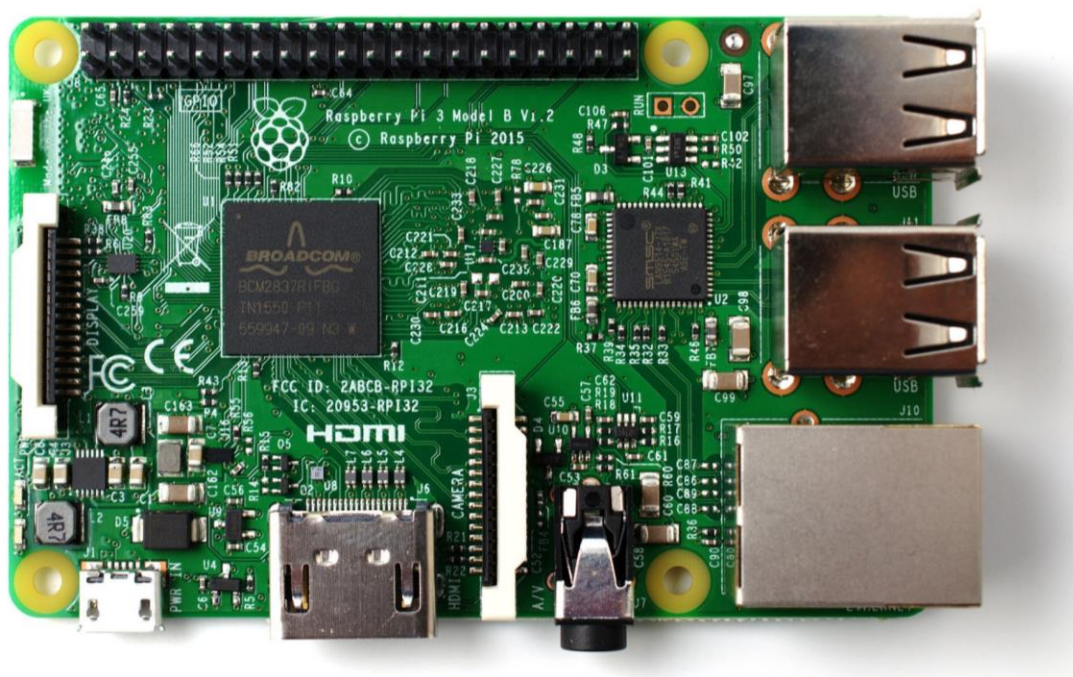
Composite video and reset headers



Слика 7 Raspberry Pi Zero

Линукс курс 2022/2023

Raspberry Pi 3 Модел Б представља трећу генерацију платформе која се појавила у фебруару 2016. Нови модел је донео мање значајна побољшања: 1.2GHz 64-bit quad-core ARMv8 процесор, интегрисану подршку за 802.11n Wireless LAN и Bluetooth 4.1.



Слика 8 Raspberry Pi 3 Модел Б

Тајни састојак и даље популарног модела Raspberry Pi 2 плоче је Broadcom BCM2836 процесор, ARMv7 Quad Core Processor System-on-Chip, који ради на 900MHz а поседује и Videocore 4 GPU. GPU (графички процесор) подржава OpenGL ES 2.0, хардверски убрзани OpenVG, декодирање 1080p30 H.264 висококвалитетног видеа и способан је да обради 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s или да извршава рачунске операције брзином од 24 GFLOPs-а за различите намене. То нпр. омогућава повезивање RPi2 на HDTV и гледање видео BlueRay квалитета користећи H.265 са протоком од 40MBits/s.

Највећа промена на RPi2 у односу на претходнике је поред новог процесора и повећање RAM меморије са 512MB на 1GB. И даље се користи микро SD картица као системски диск. Подржане су и картице веће од 4GB, мада ће већина Линукс дистрибуција радити савршено и на 4GB.

Raspberry Pi 2 има четири USB порта (миш, тастатура, итд.). Уколико је за рад потребно још додатних USB портова, може се употребити USB разделник у сврху проширења могућности. Препоручује се употреба USB разделника са додатним

Линукс курс 2022/2023

напајањем како се не би преоптеретио извор напајања на RPi2 плочи. Напајање плоче се обезбеђује преко микро-USB порта на који се може прикључити спољашњи USB адаптер или пуњач за паметни телефон. Препоручује се адаптер који може да обезбеди минимум 1A а идеално 2A или више ако се жели да повеже више додатних уређаја на USB.

Поврх свега, периферије ниског нивоа на Pi плочи омогућавају разна експериментисања. На располагању је и 40-пински конектор са растером од 2.54mm преко кога је омогућен приступ ка 27 GPIO пинова, UART, I2C и SPI порту, као и напајањима од 3.3V и 5V. Овај конектор је потпуно исти као на Б+ плочама, стога се без икаквих измена могу користити и shield-ови пројектовани за Б+.

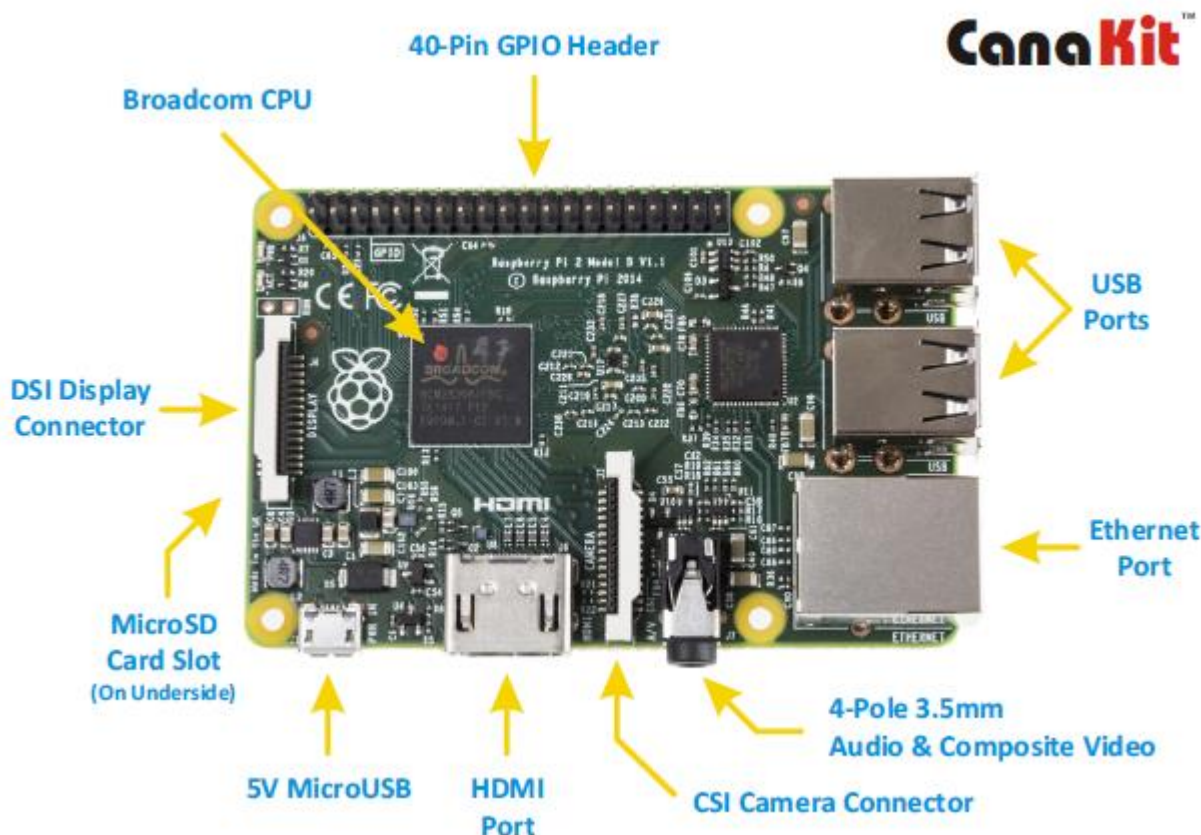
Техничке карактеристике:

- Broadcom BCM2836 SoC
- 900MHz ARMv7 Quad Core Processor SoC
- Broadcom VideoCore IV GPU
- 1 GB RAM
- 4 x USB2.0 Ports with up to 1.2A output
- Expanded 40-pin GPIO Header
- Video/Audio Out via 4-pole 3.5mm connector, HDMI, or Raw LCD (DSI)
- Storage: microSD
- 10/100 Ethernet (RJ45)
- CSI camera connector
- Low-Level Peripherals:
 - 27 x GPIO
 - UART
 - I2C bus
 - SPI bus with two chip selects
 - +3.3V
 - +5V
 - Ground
- Напајање: 5V @ 600 mA преко MicroUSB кабла или GPIO конектора
- Подржава Raspbian, Windows 10, Debian GNU/Linux, Fedora, Arch Linux, RISC OS, итд.

Имајући у виду све моделе који су доступни на тржишту, може се закључити да сваки модел понаособ има своје предности и мане. Модел А је мали потрошач и самим тим интересантан за уско-специјализоване пројекте. Сви модели Б типа су универзални модели за обуку и експериментисање са могућностима које пружа рачунар Raspberry Pi. Compute module развојни пакет је намењен стручњацима из

области електронике. Raspberry Pi Zero је по цени далеко најприступачнији, а и даље завидних перформанси на плочици изузетно малих димензија.

У свим практичним примерима у раду користиће се рачунар Raspberry Pi 2 модел Б.



Слика 9 Raspberry Pi 2 модел Б

Додатна опрема

Поред жељеног модела рачунара Raspberry Pi на коме се налазе чип са процесором и RAM меморија, за рад потребна је и додатна опрема која задовољава одређене стандарде.

1. **Кућиште** за рачунар Raspberry Pi може да се набави одвојено или у комплекту заједно са плочом и на тржишту постоји широка понуда тако да се може одабрати оно које највише одговара потребама. Основна намена му је да заштити рачунар од спољашњих утицаја, обезбеди добру вентилацију и приступ свим потребним прикључцима. Осим комерцијалних, која могу бити једноставна, елегантна, шарена или практична у употреби су и уникатна

Линукс курс 2022/2023

кућишта направљена од приручних материјала - LEGO коцкица, пластичне или дрвене кутије...

2. **Електрично напајање** мора да задовољи следеће услове: да даје напон од 5V једносмерне струје, да даје струју већу од 700mA и да има микро USB прикључак. Уколико је потребно да користимо више USB прикључака истовремено, пожељно је јаче напајање рецимо 1,5A или чак 2A. Ове карактеристике задовољавају напајања која се користе за мобилне телефоне. Струја се може преузимати из електричне мреже, са USB порта другог рачунара или из батерије која се на тржишту може набавити као додатно напајање за мобилни телефон.
3. **Меморијска картица** треба да буде капацитета најмање 4GB. Препорука је да се користи картица капацитета 8GB и најмање класе 4. За моделе А, Б ревизија 1 и Б ревизија 2 се користи SD, а за новији модел Б+ као и другу генерацију платформе RPi2 микро SD меморијска картица.
4. **Raspberry Pi камера** је специјално дизајнирана камера намењена за Raspberry Pi рачунаре која се прикључује на CSI (Camera Serial Interface) прикључак на плочи уређаја. Постоје две варијанте камера: прва намењена дневном снимању и друга, Pi Noir камера, намењена дневном и ноћном снимању. Pi Noir камери је уклоњен инфрацрвени филтер што јој у ноћним условима повећава осетљивост и омогућава снимање са инфрацрвеним осветљењем. Других разлика између ова два модела нема. Према официјелној Интернет страници по цени од 25\$ добија се камера тежине 3g и димензија 25mm x 20mm x 9mm. Слика добијена овом камером има резолуцију 5 Mpixel, а видео 1080p30, 720p60 и 640x480p60/90. Сензор на камери има резолуцију 2592 x 1944 пиксела, а област којом слика је димензија 3.76mm x 2.74mm. Формати слика који се добијају овом камером су JPEG, JPEG+RAW, GIF, BMP, PNG, YUV420, RGB888, а формати видео записа су raw и h.264. Детаљне карактеристике ове камере наведене су на званичном сајту. Коришћењем ове камере добија се на брзини, јер је у *Raspbian* оперативном систему предвиђено да се омогућавањем рада ове камере део RAM меморије резервише за рад GPU. Поред ове камере, могуће је користити IP или стандардну USB камеру.

Линукс курс 2022/2023

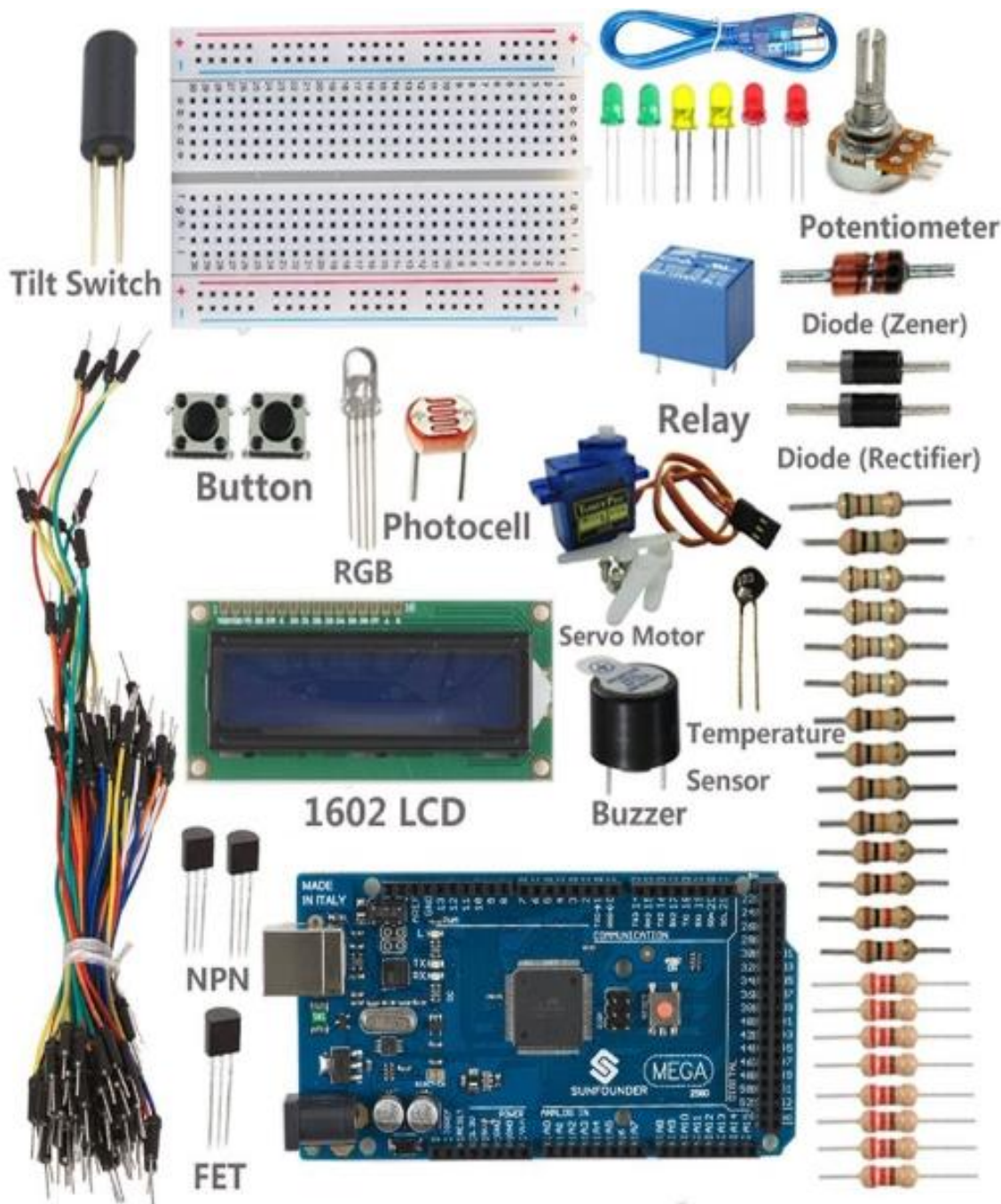


Слика 10 Raspberry Pi 2 Модел Б комплет

Остала рачунарска опрема нема посебних захтева, осим да постоји могућност физичког повезивања са рачунаром Raspberry Pi преко одговарајућег прикључка. Повезивањем на рачунарску мрежу, мрежним каблом или бежичним WiFi USB прикључком, рачунар Raspberry Pi добија своју IP адресу и омогућен је приступ до њега са осталих уређаја у мрежи, тачније понаша се као и сваки други рачунар. Уколико се рачунар Raspberry Pi користи као самосталан рачунар, односно, потребан је директан рад на њему у жељеном окружењу, од додатне опреме су потребни екран, USB тастатура и миш. Повезивање са екраном се обавља преко HDMI кабла или одговарајућег адаптера. USB тастатура и миш могу бити физички одвојени, а могуће је користити и комерцијалне комбинације са идејом да се искористи само један USB порт.

Идеја на основу које је настао рачунар Raspberry Pi је била да се првенствено млади заинтересују за конкретне проблеме из области рачунарских наука. Осим стандардне рачунарске опреме, на рачунар Raspberry Pi је могуће повезати преко GPIO порта и неку другу опрему из области електронике. За ту намену на тржишту постоји и почетнички комплет по приступачној цени, за рад са рачунаром Raspberry Pi, намењен прављењу прототипова решења конкретних проблема. Када се направи прототип решења, могуће је програмски контролисати понашање датих компоненти.

Линукс курс 2022/2023



Слика 11 Комплет додатне опреме

Упутство за коришћење

Сви студенти имају обавезу да опрему користе у складу са смерницама за употребу датим од произвођача опреме. Упутство за коришћење као и

Линукс курс 2022/2023

повезивање периферних уређаја може да се пронађе у Raspberry Pi 2 развојном комплету под називом “QUICK START GUIDE”.

Припрема окружења

Преузимање датотека и директоријума који ће надаље бити коришћени

Инсталација података за вежбе

За предстојеће вежбе на курсу, припремљен је сет података (image-и језгра, конфигурације језгра, root filesystems, и др), а можете га преузети на један од два начина:

- Преузимањем GIT репозиторијума са GitHub-a

```
sudo apt-get install git
```

```
cd
```

```
git clone --depth=1 https://github.com/rtrk/linux-kernel-labs.git
```

- Преузимањем tarball архиве `linux-kernel-labs.tar.bz2` из поставке вежбе.

Преузмите tarball и поставите га у home директоријум, а потом распакујте у терминалу:

```
cd
```

```
tar xvjf linux-kernel-labs.tar.bz2
```

Распакујете Root Filesystem са:

```
sudo tar xvjf linux-kernel-labs/modules/rootfs.tar.bz2 -C linux-kernel-labs/modules/nfsroot
```

Поставите на следећи начин власнике појединих датотека:

```
sudo chown -R student.student linux-kernel-labs/modules/nfsroot/root
```

Подаци за вежбе се сада налазе у вашем home директоријуму, унутар директоријума `linux-kernel-labs`. Ту се налазе директоријуми који садрже различите податке неопходне за сваку од предстојећих вежби. Овај директоријум ће такође бити коришћен и као радни простор за сваку вежбу, тако што ће датотеке које направите за време сваке вежбе бити чуване посебно.

Линукс курс 2022/2023

Сада сте спремни за почетак практичних вежби.

Инсталација додатних пакета

Слободно инсталирајте друге пакете који су вам потребни у развојном окружењу. Генерално, препоручујемо инсталацију вама омиљеног текст едитора и конфигурацију истог према вашем укусу. Омиљени текст едитори за људе који се баве embedded Линуксом су свакако Vim и Emacs, али постоји и мноштво других могућности, попут GEdit, Qt Creator, CodeBlocks, Geany, итд.

Вреди поменути да Ubuntu иницијално долази са веома ограниченом верзијом едитора vi. Стога, уколико желите да користите vi едитор, предлагемо да користите верзију богатију опцијама инсталирањем пакета vim.

Додатна упутства

Може бити корисно у свим вежбама:

- Прочитајте пажљиво упутства и савете. Многи погреше или губе време јер су пропустили објашњење или савет.
- Увек читајте поруке о грешкама, посебно прву. Многи се заглаве на веома једноставним грешкама само зато што су навели лошу путању до датотеке и нису обратили пажњу на одговарајућу поруку о томе.
- Немојте стајати блокирани на чудном проблему више од 5 минута. Покажите проблем колегама или асистенту.
- root корисника би требало да користите само за операције које захтевају супер привилегије, као што су mount-овање фајл система, учитавање модула језгра, измена власника датотеке, конфигурирање мреже. Већину регуларних задатака (преузимање, распакивање, компајлирање, итд) је могуће завршити као регуларан корисник.
- Ако грешком покрећете команде из root shell-а, ваш регуларни корисник можда више неће бити у могућности да користи одговарајуће датотеке. У том случају користите chown -R команду да нове датотеке вратите регуларном кориснику.

Нпр: `chown -R myuser.mygroup <path>`

Линукс курс 2022/2023

- Ако користите Gnome терминал (основни емулятор терминала на Ubuntu 22.04), можете користити вишеструке табове да бисте имали више терминала у истом позору. Ако не постоји опција за прављење новог таба, можете то урадити комбинацијом тастера [Ctrl] [Shift] [t].

Припрема Raspberry Pi рачунара

Циљ: успостављање комуникације са плочом и конфигурација bootloader-a

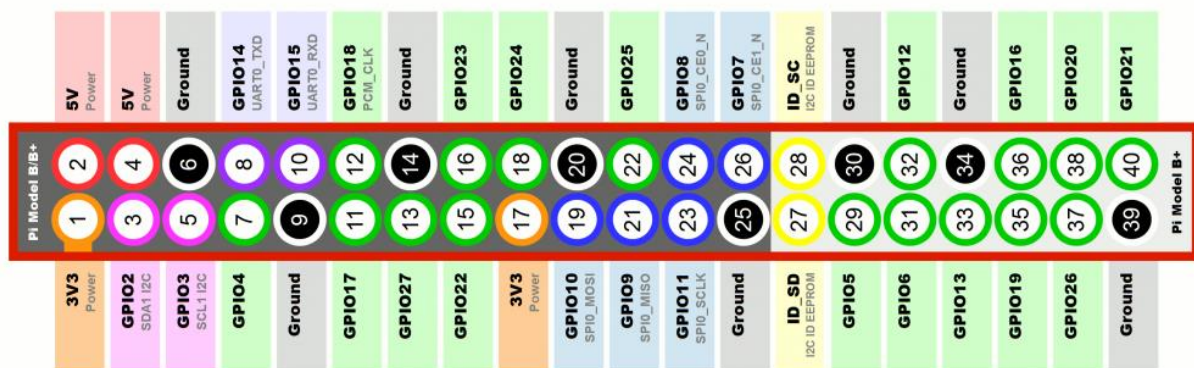
Након ове вежбе моћи ћете да:

- Приступите плочи преко серијске линије
- Конфигуришете U-boot bootloader и tftp server на вашем рачунару да бисте пребацивали датотеке кроз tftp.

Упознавање са плочом

Доступне периферије и конекторе на Raspberry Pi 2 рачунару приказује Слика 9. У истом поглављу (Модели рачунара Raspberry Pi) се налазе и детаљне карактеристике и спецификација овог модела.

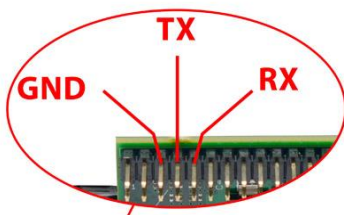
Распоред GPIO пинова на 40-пинском конектору приказује Слика 12.



Слика 12 Распоред GPIO пинова на 40-пинском конектору Raspberry Pi рачунара

Успостава серијске комуникације са плочом

Серијски конектор Raspberry Pi рачунара се налази на 40-пинском конектору, као што је приказано на слици испод (Слика 13).



Слика 13 Распоред пинова серијског порта на конектору Raspberry Pi рачунара

ДОК ЈЕ ПЛОЧА ИСКЉУЧЕНА, користећи специјалан „USB to Serial“ адаптер (Слика 14) који сте добили од асистента, прикључите жице на приказани конектор на следећи начин: GND (црна) прикључите на пин означен са GND (пин 6, Слика 12), а RX (бела) и TX (зелена) жице на пинове TX и RX на плочи (пинови 8 и 10, Слика 12). Увек водите рачуна да TX жицу кабла (адаптера) спојите на RX пин плоче и обрнуто, који год кабел или плочу користите.



Слика 14 „USB to Serial“ адаптер, распоред пинова (жица)

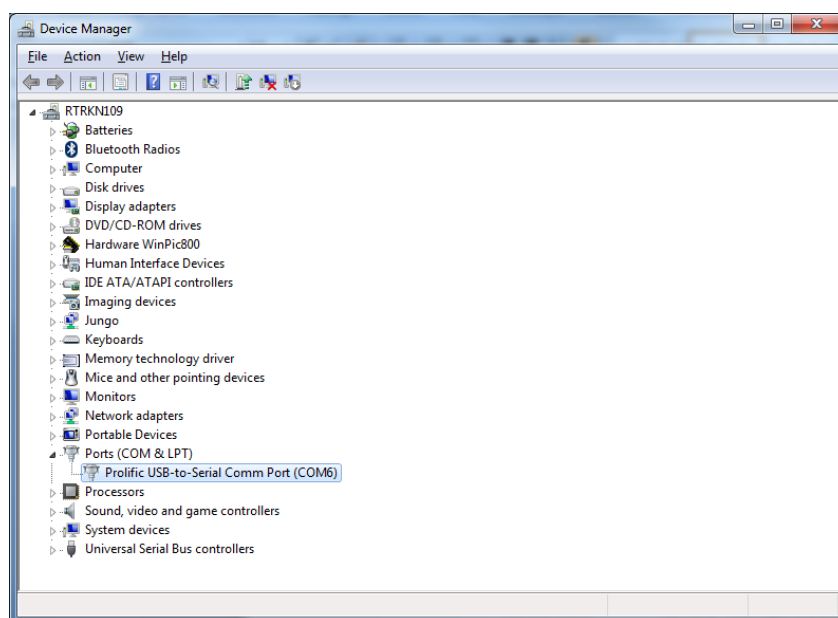
Изглед повезаног „USB to Serial“ адаптера и Raspberry Pi плоче приказује Слика 15.

Линукс курс 2022/2023



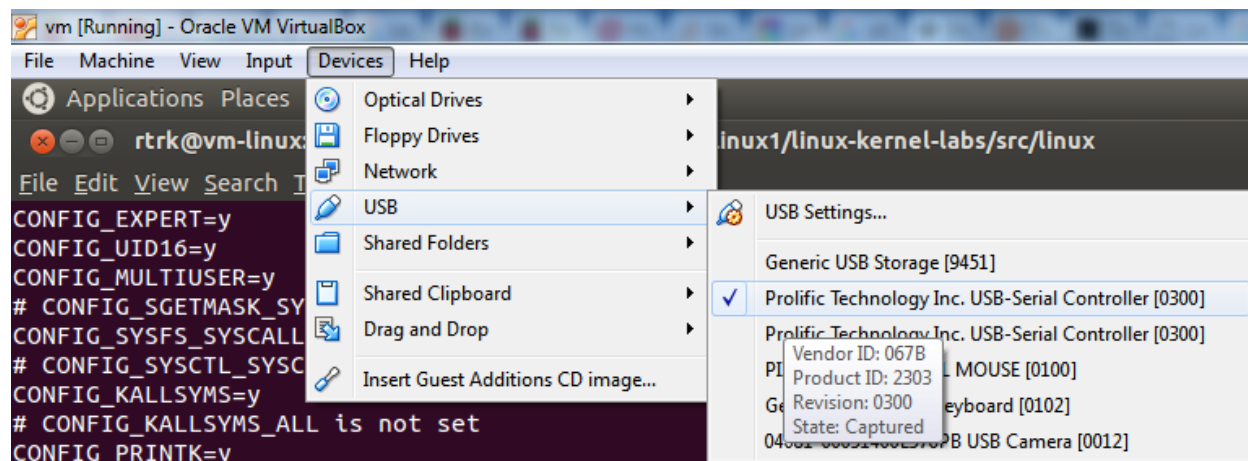
Слика 15 Повезивање „USB to Serial“ адаптера и Raspberry Pi плоче

Када је „USB to Serial“ адаптер повезан на рачунар, нови серијски порт би требало да се појави као `/dev/ttyUSB0`, уколико користите Линукс. Уколико на рачунару имате Windows, адаптер би требало да се види у Device Manager-у, Слика 16.



Слика 16 Приказ „USB to Serial“ адаптера у Device Manager-у (Windows)

У случају да радите на виртуелној машини, а домаћин има Windows оперативни систем, потребно је још да омогућите госту (ВМ) да користи прикључени адаптер, Слика 17. Након тога, у ВМ добијате исту ситуацију као када користите на рачунару Линукс (нови серијски порт би требало да се појави као `/dev/ttyUSB0`), односно Windows.



Слика 17 Прослеђивање „USB to Serial“ адаптера госту на виртуелној машини

Напомена: Да би ВМ систем аутоматски препознао ваш USB уређај потребно је додати филтер уређаја. У опцијама `Devices` → `USB` → `USB Settings...` додати нови USB филтер са именом уређаја који омогућује USB на серијску везу. Након овога, следећи пут када се покрене ВМ потребно је само закачити назначени USB уређај и ВМ систем ће га аутоматски препознати и додати.

Да бисте комуницирали са плочом кроз серијски порт, инсталирајте најпре програм за серијску комуникацију попут `picocom`:

```
sudo apt-get install picocom
```

Ако покренете команду `ls -l /dev/ttyUSB0`, можете видети да само `root` и корисници који припадају `dialout` групи имају права приступа датотеци ради читања и писања. Стога, треба додати вашег корисника у `dialout` групу:

```
sudo adduser $USER dialout
```

Сада је још потребно да урадите `log out` и `log in` поново да бисте омогућили новој групи да буде свугде видљива.

Линукс курс 2022/2023

Сада можете покренути `picocom -b 115200 /dev/ttyUSB0`, да бисте започели серијску комуникацију на `/dev/ttyUSB0`, са `baudrate` параметром постављеним на 115200. Уколико желите да напустите `picocom`, притисните `[Ctrl][a]` праћено са `[Ctrl][x]`.

За сада не би требало да буде ништа на серијској линији, с обзиром да плоча није укључена. Сада је време да се укључи плоча прикључивањем `mini-USB` кабла који сте добили од асистента (са другим крајем прикљученим на ваш рачунар или `USB` напајање).

Проверите које поруке добијате на серијској линији. Ако је све коректно урађено, требали бисте да видите `U-boot` испис на серијској линији.

Интеракција са Bootloader-ом

Ресетујте плочу. У `picocom` терминалу треба да видите како се редом подиже `U-boot`, па Линукс кернел и на крају сам Линукс. По завршетку треба да добијете промпт за пријаву на систем са именом `buildroot`. Користите налог `root`, без лозинке.

```
Welcome to Buildroot
```

```
buildroot login: root
```

```
buildroot:~#
```

Ресетујте поново плочу и притисните било који тастер да зауставите одбројавање `U-boot`-а када оно почне. Тада би требало да видите `U-boot` промпт:

```
U-Boot 2021.07 (Oct 28 2021 - 23:29:57 +0200)

DRAM: 924 MiB
RPI 2 Model B (0xa01041)
MMC: mmc@7e202000: 0
Loading Environment from FAT... OK
In: serial
Out: serial
Err: serial
Net: No ethernet found.
starting USB...
Bus usb@7e980000: USB DWC2
scanning bus usb@7e980000 for devices... 3 USB Device(s) found
   scanning usb for storage devices... 0 Storage Device(s) found
Hit any key to stop autoboot: 0
U-Boot>
```


Линукс курс 2022/2023

Сада можете да користите U-boot. Покрените `help` команду да видите листу доступних команди и уверите се да имате најмање верзију 2021.07.

Покретање Линукс оперативног система

Следећи корак је конфигурација U-boot-а и вашег рачунара тако да се омогући пребацивање датотека, као што су kernel image и Device Tree Binary (DTB), коришћењем TFTP протокола кроз Ethernet кабел.

За почетак, инсталирајте TFTP server на ваш рачунар:

```
sudo apt-get install tftpd-hpa
```

Повезивање Raspberry Pi са рачунаром преко додатног usb2ethernet адаптера

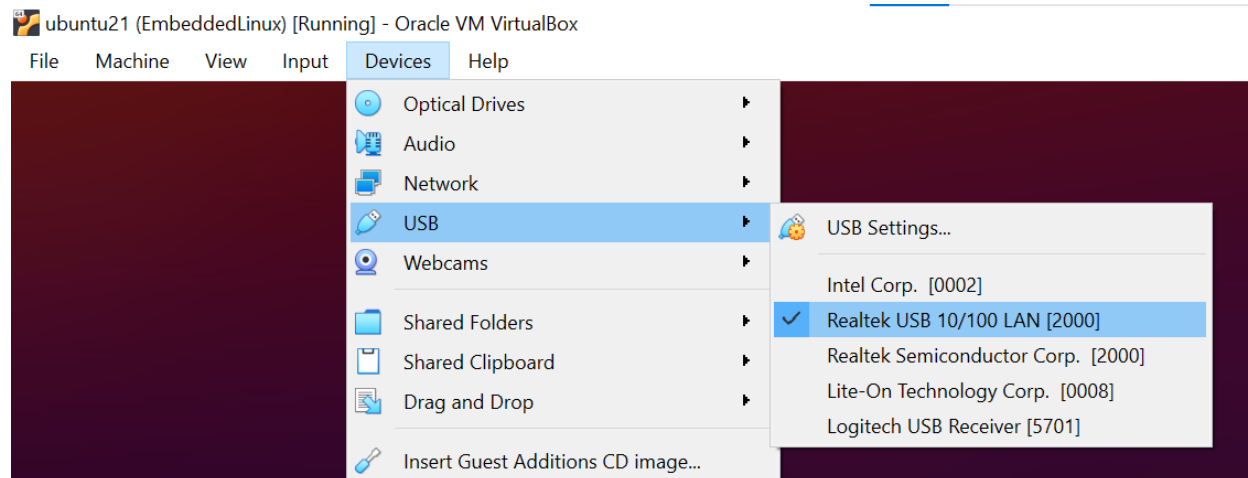
Повежите приложени USB Ethernet адаптер (Слика 18) на слободан USB порт вашег рачунара. У случају да радите на виртуелној машини, а домаћин има Windows оперативни систем, потребно је још да омогућите госту (Ubuntu Linux VM) да користи прикључени адаптер, слично као што сте урадили и са „USB 2 Serial“ адаптером (Слика 19).



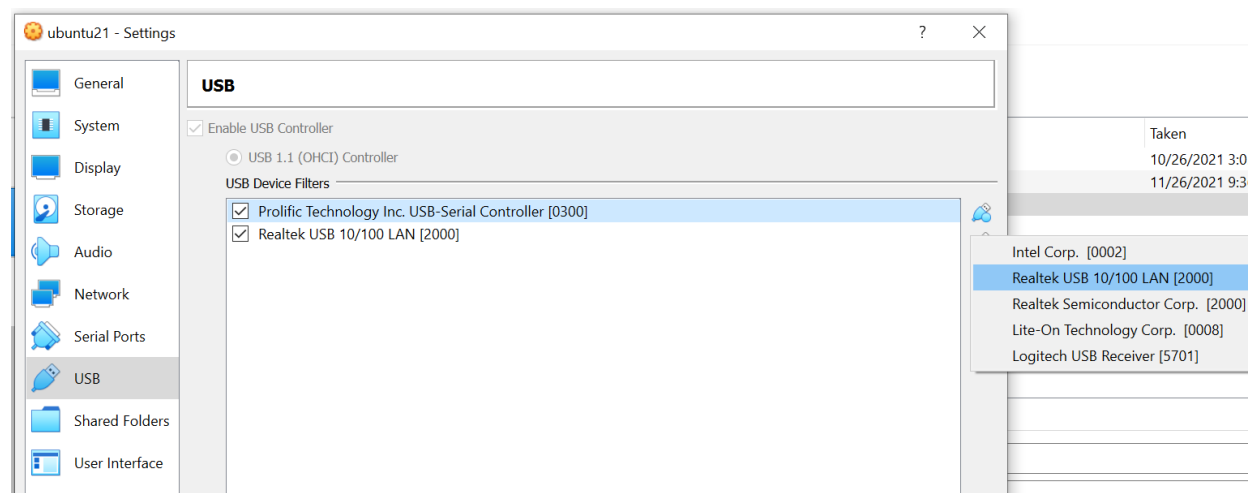
Слика 18 USB Ethernet Адаптер

Напомена: Да би VM систем аутоматски препознао ваш USB Ethernet адаптер сваки следећи пут потребно је додати филтер уређаја. У опцијама `Devices -> USB -> USB Settings...` додати нови USB филтер са именом уређаја који представља USB Ethernet адаптер (Слика 20). Након овога, следећи пут када се

покрене ВМ потребно је само повезати назначени USB Ethernet адаптер са рачунаром и ВМ Линукс систем ће га аутоматски препознати и додати.



Слика 19 Прослеђивање "USB Ethernet" адаптера госту на виртуелној машини



Слика 20 USB Serial и USB Ethernet адаптери прослеђени госту у виртуелној машини кроз USB филтер

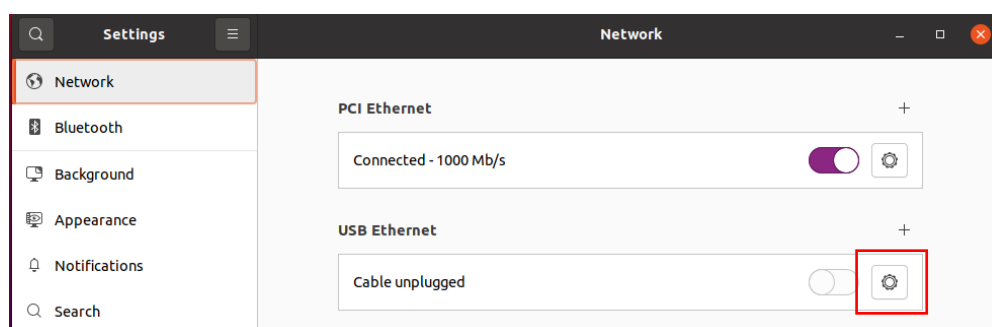
Након овог корака би у Линуксу требало да буде иста ситуација, било да се користи директно или као виртуелна машина са Windows оперативним системом као домаћином, односно требало би да је видљива нова мрежна спрега назива USB Ethernet.

Сада је потребно конфигурисати мрежну спрегу у Линукс систему. Да бисте конфигурисали мрежну спрегу, покрените `Network` на рачунару и одаберите `Settings` опцију (Слика 21). Одаберите подешавања нове спреге (Слика 22).

Линукс курс 2022/2023

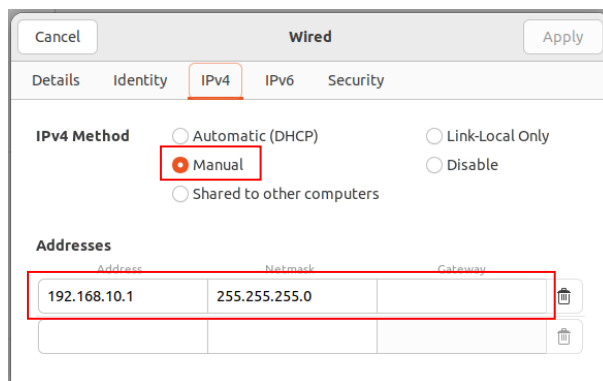


Слика 21 Покретање алата за подешавање мрежне спреге



Слика 22 USB Ethernet мрежна спрега у Линукс ОС

У картици IPv4 одаберите Manual као метод да бисте омогућили да спрега користи статичку IP адресу, попут 192.168.10.1 (наравно, водите рачуна да ова адреса припада другом мрежном сегменту у односу на главну мрежу на коју је рачунар већ повезан) (Слика 23 - означено црвеном бојом). За Netmask можете користити код 24, а поље Gateway можете оставити празно (уколико кликнете на поље Gateway мораћете да унесете валидну IP адресу иначе нећете моћи да сачувате подешавања кликом на Apply дугме).



Слика 23 Подешавања нове мрежне конекције



Линукс курс 2022/2023

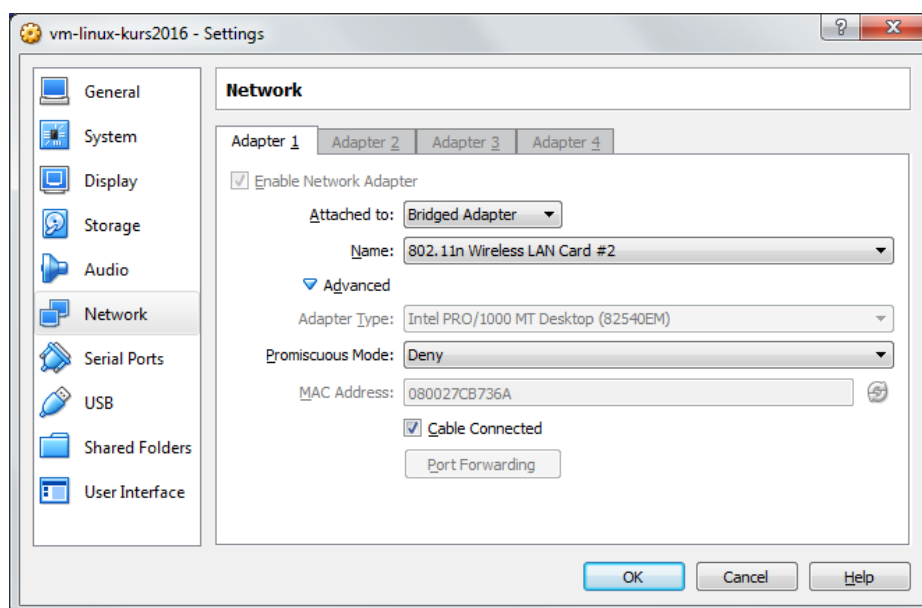


Уколико је овај корак успешно завршен, пређите на корак „

Наставак у U-boot командној линији“, а у супротном, испробајте наредне (опције) кораке.

(Опција 1) Повезивање Raspberry Pi на локалну мрежу

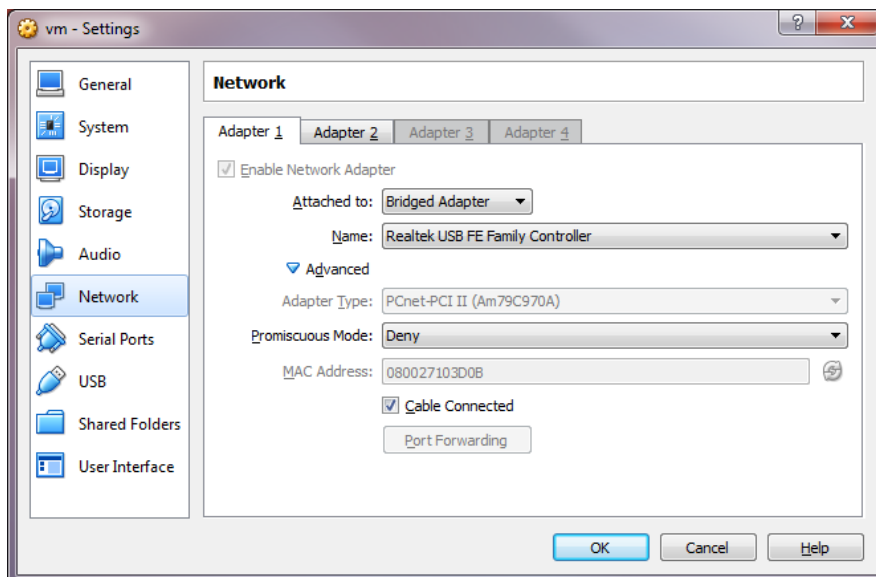
Мрежним каблом, повежите Ethernet порт Raspberry Pi плочице са портом на етернет свичу, тј. на локалну мрежу. Уколико радите у виртуелној машини, потребно подесити мрежни адаптер као *Bridged Adapter* (Слика 24) и генерисати нову MAC адресу да бисте избегли вишеструке адресе на мрежи.



Слика 24 Подешавање локалног мрежног адаптера на виртуелној машини

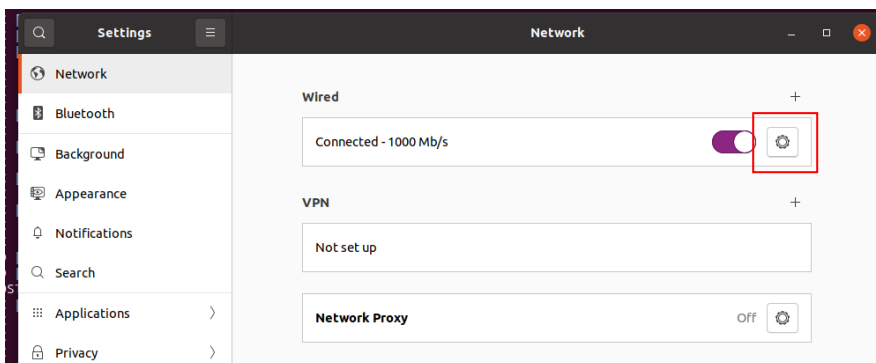
(Опција 2) Повезивање Raspberry PI директно са рачунаром

Мрежним каблом, повежите Ethernet порт Raspberry Pi плочице са портом на рачунару. Уколико радите у виртуелној машини, потребно је и прикључити нови уређај (адаптер) на виртуелну машину, Слика 25.



Слика 25 Прикључивање мрежног адаптера на виртуелну машину

У оба случаја (опција 1 или 2) нова мрежна спрега би требало да се појавила у Линукс систему и требало би је конфигурирати. Покрените Network подешавања за подешавање конекције преко кабла (Слика 26).

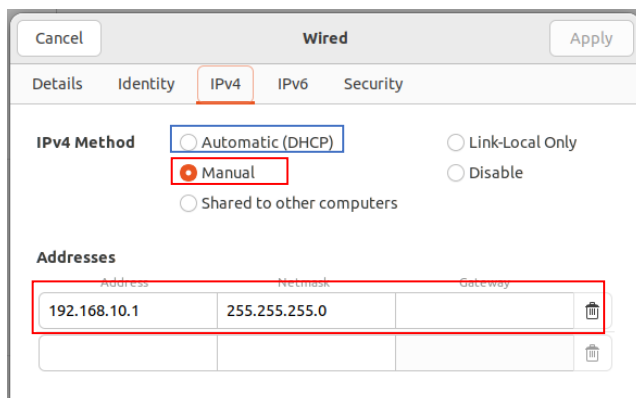


Слика 26 Нова мрежна веза преко кабла

У случају да сте се у претходном кораку одлучили за Опцију 1, у картици IPv4 одаберите Automatic (Слика 27 – означено плавом бојом).

У случају да сте се у претходном кораку одлучили за Опцију 2, у картици IPv4 одаберите Manual као метод да бисте омогућили да спрега користи статичку IP адресу, попут 192.198.10.1 (наравно, водите рачуна да ова адреса припада другом мрежном сегменту у односу на главну мрежу на коју је рачунар већ повезан) (Слика 27 - означено црвеном бојом). За Netmask можете користити код

24, а поље Gateway можете оставити празно (уколико кликнете на поље Gateway мораћете да унесете валидну IP адресу иначе нећете моћи да сачувате подешавања кликом на Apply дугме).



Address	Netmask	Gateway
192.168.10.1	255.255.255.0	

Слика 27 Повезивање нове мрежне везе

Наставак у U-boot командној линији

Вратите се на U-boot командну линију, поставите променљиве (ipaddr и serverip) у складу са дефинисаном адресом. Ако сте за IP адресу PC-ја поставили 192.168.10.1, нека IP адреса RPi буде 192.168.10.100.

```
setenv ipaddr <IP адреса rpi>
```

```
setenv serverip <IP адреса pc>
```

Сачувајте ове измене на SD картицу командом:

```
saveenv
```

Само уколико је више Raspberry PI уређаја са курса повезано на исту локалну мрежу, неопходно је променити физичку (MAC или ETH) адресу уређаја, да не би више уређаја на мрежи имали исту адресу (XY заменити неким „јединственим“ бројем):

```
setenv -f ethaddr b8:27:eb:9e:90:XY
saveenv
reset
```

Можете тестирати TFTP конекцију тако што ћете најпре направити малу тексуталну датотеку у /var/lib/tftpboot.

Након тога, из U-Boot-а покренути команду

```
tftp 0x01000000 textfile.txt
```

tftp команда би требало да је пребацила датотеку textfile.txt са вашег рачунара на плочу, на меморијску локацију 0x01000000 (ова локација је део DRAM-а на плочи). Можете то и верификовати читањем садржаја меморије командом:

```
md 0x01000000
```

Уколико имате проблема са пребацивањем датотеке преко tftp:

- Проверите да ли са рачунара можете да прозовете Raspberry Pi:

```
ping <IP адреса rpi>
```


Линукс курс 2022/2023

Може се десити да не успевате да га прозовете, али оставите покренут ping да видите да ли ће проћи у тренутку док радите наредни корак (разлог: мрежа на Raspberry Pi у U-boot-у није стално активна већ само по потреби)

- Проверите да ли са Raspberry Pi можете да прозовете рачунар:

```
ping <IP adresa pc>
```

или

```
ping $serverip # овим уједно проверавате и да ли је  
варијабла serverip коректно подешена, обратите пажњу на IP  
адресу коју Raspberry Pi том приликом користи (променљива  
ipaddr)
```

- Проверите да ли се датотека коју покушавате да копирате налази на путањи:

```
ls /var/lib/tftpboot
```

- Покрените поново сервис tftpd-hpa:

```
sudo service tftpd-hpa restart
```

Прекопирајте датотеке zImage и bcm2709-rpi-2-b.dtb које су прекомпајлиране и налазе се на путањи linux-kernel-labs/bootloader/rpi-2-b/ у home директоријум tftp server-а (/srv/tftp), како би касније покретање Линукс језгра са те путање преко tftp протокола било могуће.

Сада смо спремни за покретање Линукс језгра!

Подешавање NFS server-а

Инсталирајте NFS server инсталирањем пакета nfs-kernel-server. По инсталацији, измените /etc/exports датотеку као root корисник тако што ћете додати следеће линије:

```
/home/<user>/linux-kernel-labs/modules/nfsroot <IP adresa  
rpi>(rw,no_root_squash,no_subtree_check)
```

Обратите пажњу да су путања и опције у истој линији. Такође проверите да нема размака између IP адресе и NFS опција, иначе ће се користи подразумеване опције за ову адресу, те ће root filesystem бити read-only.

Након тога рестартујте NFS server:

```
sudo /etc/init.d/nfs-kernel-server restart
```

Ако постоји порука о грешци, то најчешће значи да постоји синтаксна грешка у /etc/exports датотеци. Исправите грешке пре наставка!

Уколико желите да проверите шта тренутно NFS server обухвата од путања и адреса, можете то прегледати са:

```
showmount -e localhost
```

Boot-овање система

Најпре покрените плочу до U-Boot промпта. Пре boot-овања језгра, морамо подесити која се конзола користи и који root filesystem ће бити mount-ован преко NFS-а, подешавањем одређених параметара језгра.

Урадите ово подешавањем U-boot bootargs променљиве (све у једној линији, обратите пажњу):

```
setenv bootargs "root=/dev/nfs rw ip=<IP адреса rpi> console=ttyAMA0,115200  
nfsroot=<IP адреса pc>:/home/<user>/linux-kernel-labs/modules/nfsroot,nfsvers=4"
```

```
saveenv
```

Ако касније желите да промените подешавања, променљиве можете мењати са:

```
editenv bootargs
```

Сада пребаците image језгра кроз tftp:

```
tftp 0x01000000 zImage
```

Такође треба пребацити и device tree blob:

```
tftp 0x02000000 bcm2709-rpi-2-b.dtb
```

Сада можете покренути језгро:

```
bootz 0x01000000 - 0x02000000
```

Линукс курс 2022/2023

Ако је све у реду, требало би да добијете login промпт (корисник: root, лозинка root). У супротном, проверите подешавања и питајте асистента за помоћ ако се заглавите. Ако језгро не успе да mount-ује NFS filesystem, обратите пажњу на поруке о грешкама у конзоли. Ако немате идеју, погледајте и NFS server поруке у /var/log/syslog.

Аутоматизација процеса boot-овања

Да бисте избегли куцање истих команди сваки пут када се укључи плоча, можете користити U-Boot bootcmd променљиву:

```
setenv bootcmd "tftp 0x01000000 zImage; tftp 0x02000000 bcm2709-rpi-2-b.dtb; bootz 0x01000000 - 0x02000000"
```

```
saveenv
```

Слободно ово можете променити по потреби. Нпр. уколико желите да се вратите на boot-овање са SD картице:

```
setenv bootcmd run mmc_boot
```

```
saveenv
```

На тај начин корисите већ подешене променљиве mmc_boot и друге, а уколико желите сами да подесите преузимање језгра са SD картице и root fs-a:

```
setenv bootargs "/dev/mmcblk0p2 rootwait console=ttyAMA0,115200"
```

```
setenv bootcmd "fatload mmc 0:1 0x01000000 zImage; fatload mmc 0:1 0x02000000 bcm2709-rpi-2-b.dtb; bootz 0x01000000 - 0x02000000"
```

```
saveenv
```

Провера да ли је root filesystem korektno mount-ован преко NFS-a

На рачунару направите кратку текст датотеку у root директоријуму root filesystem-a припремљеним за Raspberry Pi:

```
touch linux-kernel-labs/modules/nfsroot/root/test.txt
```

На Raspberry Pi рачунару би исту датореку требало да видите на путањи /root/test.txt.

Линукс курс 2022/2023

Упознавање са Линукс кернелом и превођење кернела

Циљ

Научити како да се преузме изворни код кернела и да се примене закрпе. Упознавање са изворним кодом. Упознавање са конфигурисањем и превођењем кернела. Покретање кернела ће бити омогућено на Raspberry Pi платформи. На њему ће бити покренут минималистички кернел.

Исход

Након ове вежбе ћете моћи да:

- Преузмете изворни код са званичне локације
- Примените закрпе за кернел
- Истражите изворни код, прегледате датотеке, претражите заглавља или друге информације
- Конфигуришете, преведете и покренете кернел на Raspberry Pi платформи

ПРЕУЗМИТЕ ИЗВОРНИ КОД

Позиционирајте се у директоријум `~/linux-kernel-labs/src`.

Са `github` репозиторијума преузмите код помоћу одговарајуће `git` команде:

```
git clone -b rpi-5.10.y --single-branch https://github.com/raspberrypi/linux
```

Позиционирајте се у директоријум `~/linux-kernel-labs/src/linux` и затим направите нову грану `lab04` од комита `8e1110a580887f4b82303b9354c25d7e2ff5860e` и позиционирајте се у исту:

```
git checkout -b lab04 8e1110a580887f4b82303b9354c25d7e2ff5860e
```


Линукс курс 2022/2023

За каснији рад (комитовање измена) на GIT-у, конфигуришите своје податке:

```
git config --global user.email "ime.prezime@mail"
```

```
git config --global user.name "Ime Prezime"
```

ПРИМЕНИТЕ ЗАКРПЕ

Инсталирајте `patch` команду или преко графичке спреге или преко командне линије користећи команду:

```
sudo apt-get install patch
```

На преузети код примените закрпу:

```
~/linux-kernel-labs/modules/data/LinuksCourse.patch
```

Прегледајте закрпу са `vi` или `gvim` да разумете информације које се преносе у таквој датотеци. Како су описане додате или уклоњене датотеке?

УПОЗНАЈТЕ СЕ СА КОДОМ

Као корисник кернела Линукса, често ћете морати да нађете која датотека имплементира дату функцију. Стога, корисно је упознати се са изворним кодом кернела прегледањем датотека.

1. Пронађите слику Линукс логоа у изворном коду (формат слике је `ppm`).
2. Пронађите ко одржава 3C505 мрежни драјвер.
3. Пронађите декларацију `platform_device_register()` функције.

Поред ручне претраге кода постоје и алати који нам у томе помажу. Испробајте претрагу помоћу LXR (Linux Cross Reference) на адреси <http://lxr.free-electrons.com> и изаберите верзију Линукса најближу оној коју користите.

Такође, користан алат у ситуацијама када приступ интернету није омогућен је `cscope`. Коришћењем `cscope` алата и LXR пронађите претходно ручно

Линукс курс 2022/2023

пронађене датотеке и информације и уочите предност коришћења алата за индексирање. Да би се извршило индексирање целог Линукс кода са `cscope` алатом потребно је покренути команду `cscope -Rk`. Додатне информације о коришћењу овог алата пронаћи покретањем команде `cscope --help`. Уколико је потребно претходно инсталирајте `cscope` са командом `sudo apt-get install cscope`.

ИНСТАЛАЦИЈА АЛАТА ЗА ПРЕВОЂЕЊЕ

Пре него што пређемо на конфигурисање и превођење Линукс језгра потребно је инсталирати скуп алата за превођење. За превођење Линукса за RPI плочу користимо `gcc-arm-linux-gnueabi` преводац. Инсталирајте поменути преводац са командом:

```
sudo apt-get install gcc-arm-linux-gnueabi
```

КОНФИГУРАЦИЈА КЕРНЕЛА

Пошто кернел преводимо за RPI плочу која подржава ARM скуп инструкција, а само превођење се обавља на x86 архитектури, најпре је потребно подесити одговарајуће окружење за превођење. Минимално што је потребно да се уради је да се подесе циљна архитектура и префикс алата за превођење који ће се користити. Ово се може урадити на више начина од којих сваки има своје предности и мане.

1. Први начин је директна промена вредности `ARCH` и `CROSS_COMPILE` варијабли у `Makefile` датотеци. Овај приступ је погодан уколико кернел увек преводимо за исту архитектуру и са истим преводиоцем. Ипак, како то није чест случај, овај начин подешавања окружења за превођење се не препоручује.
2. Други начин, који је и најчешћи је подешавање варијабли окружења `ARCH` и `CROSS_COMPILE` помоћу команде `export`. Уколико желимо да подесимо окружење за превођење за RPI плочу на овај начин потребно је да извршимо следеће команде:

```
export ARCH=arm
```

Линукс курс 2022/2023

```
export CROSS_COMPILE=arm-linux-gnueabihf-
```

Мана овог приступа је у томе што су подешене варијабле видљиве само у терминалу у ком су извршене претходно наведене команде. Овај проблем би се могао решити подешавањем варијабли у `~/.bashrc` скрипти која се аутоматски извршава при покретању терминала.

3. Трећи начин подешавања окружења за превођење је да се вредности варијабли `ARCH` и `CROSS_COMPILE` проследе при сваком позиву `make` команде, на пример:

```
make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-linux-gnueabihf- -j4
```

При коришћењу овог приступа постоји велика шанса да се у неком од позива `make` команде изоставе потребне варијабле што резултује грешком у превођењу.

Након што сте подесили окружење за превођење за RPI плочу можете да приступите конфигурисању кернела.

Позиционирајте се у преузети и patch-овани кернел директоријум (`~/linux-kernel-labs/src/linux`). Примените подразумевану конфигурацију која је додата у изворни код кернела применом закрпе. Искористите у те сврхе наредну команду која ће бити објашњена на наредним предавањима и вежбама:

```
make bcm2709_linux_course_defconfig
```

Можда ће вам бити потребно да инсталирате додатне пакете, попут `flex`, `bison`, `libssl-dev`, `qtbase5-dev` који садржи Qt развојне датотеке, као и `g++` пакет који представља C++ преводилац.

Покрените команду `make xconfig` да покренете спрегу за конфигурацију кернела. У покренутој спрези за конфигурацију, укључите `Options --- Show Name` опцију. Ово је понекад корисно, када је име параметра експлицитније од описа или када пратимо нека упутства која су нам задата са именима параметара.

Такође, пробајте и опције `Options --- Show All Options` и `Options -- Show Debug Info`. Ове опције ће вам дозволити да видите све параметре који се иначе не би приказали, јер зависе од вредности других параметара. Тако

Линукс курс 2022/2023

што кликнете на опис неког од тих параметара, видећете његове предуслове за укључивање и разумећете зашто није могуће да се одаберу.

Конфигуришите мали кернел за RPI плочу тако што ћете:

- укључити Broadcom SoC support (ARCH_BCM), а затим и Broadcom BCM2835 family (ARCH_BCM2835)
- укључити подршку за MMC
- укључити подршку за Ext4 и VFAT системе датотека (обратите пажњу на зависности конфигурационих опција, у опису Depends on)
- укључити подршку за elf binaries (BINFMT_ELF)
- укључити подршку за NEON у кернел моду (KERNEL_MODE_NEON)
- укључити подршку за MMC DMA за BCM2835 Arasan контролер (MMC_BCM2835_DMA)
- укључити подршку за SDHCI за MMC
- укључити подршку за SDHOST за BCM2835
- укључити подршку за mailbox за BCM2835 (BCM2835_MBOX)
- укључити подршку за драјвер firmware за RPI (RASPBERYPYPI_FIRMWARE)
- укључити подршку за конзолу на AMBA серијском порту (SERIAL_AMBA_PL011_CONSOLE)
- поставити LOCALVERSION на вашу верзију - специфицирајте суфикс верзије (тако ћете моћи да разликујете свој кернел командом `uname -r` или `cat /proc/version`, кад покренете систем).

Одвојите време да прегледате нове одлике које укључујете!

Такође, можете пробати `make menuconfig`. Иако није графичка спрега, неки људи преферирају овај начин конфигурације. Пошто је `menuconfig` спрега базирана на `Ncurses` biblioteci, мораћете да инсталирате `libncurses-dev` пакет да бисте је користили.

Линукс курс 2022/2023

ПРЕВЕДИТЕ КЕРНЕЛ

Потребно је само да покренете:

```
make -j4
```

Добијени кернел је потребно покренути на RPI плочи. Датотеке које су добијене превођењем (zImage и bcm2709-rpi-2-b.dtb) је потребно копирати да би их RPI преузимао преко мреже у процесу покретања.

Обзиром да у кернел није укључена подршка за NFS, U-Boot треба подесити тако да се **rfs** преузима са картице. Покрените из U-Boot-а нови кернел тако што ћете привремено (без позива `saveenv`) променити променљиву `bootargs`, а потом покренути кернел:

```
setenv bootargs root=/dev/mmcblk0p2 rootwait console=tty1  
console=ttyAMA0,115200
```

```
boot
```

САЧУВАЈТЕ СВЕ ИЗМЕНЕ

Да бисте потврдили и сачували све измене, најбоље је да их додате, а потом и локално комитујете на GIT, док сте позиционирани у неки од директоријума репозиторијума који је мењан, нпр. `~/linux-kernel-labs/src/linux`:

```
git add -A
```

```
git commit -as -m "lab04 done"
```

Да би измене постале видљиве и у репозиторијуму на серверу, потребно би још било урадити нпр. `git push`, али то у овом случају није неопходно нити имамо неопходна права за то.

Линукс курс 2022/2023

Конфигурисање и превођење кернела

Циљ

Упознавање са конфигурисањем и превођењем кернела.

Исход

Након ове вежбе ћете моћи да:

- Поставите и модификујете слику коренског система датотека, као и да додајете нове уређаје.

ПОСТАВКА

Позиционирајте се у директоријум `~/linux-kernel-labs/src/linux` који садржи кернел за RPI са `github` репозиторијума <https://github.com/raspberrypi/linux> и затим направите нову грану `lab05` и позиционирајте се у исту:

```
git checkout -b lab05 8e1110a580887f4b82303b9354c25d7e2ff5860e
```

Позиционирајте се у директоријум `~/linux-kernel-labs/modules` који садржи коренски систем датотека за RPI и затим од полазне гране `master` направите нову грану `dan05` и позиционирајте се у исту:

```
git checkout master
```

```
git checkout -b lab05
```

Распакујте у тренутни директоријум (`~/linux-kernel-labs/modules`) архиву са коренским системом датотека посебно припремљену за ову вежбу:

```
sudo tar xvjf nfsrootLab.tar.bz2
```

Поставите на следећи начин власнике појединих датотека:

```
sudo chown -R student.student nfsrootLab/root
```

Линукс курс 2022/2023

КОНФИГУРАЦИЈА КЕРНЕЛА

Позиционирајте се у директоријум `~/linux-kernel-labs/src/linux` и искористите `дату` конфигурацију `~/linux-kernel-labs/modules/data/Linux.config` као тренутну (`.config`).

Покрените команду `make xconfig` да покренете спрегу за конфигурацију кернела. Конфигуришите кернел за употребу `framebuffer` и `framebuffer console`, као и `framebuffer` за подршку за BCM2708 платформу (`FB_BCM2708`). Поставите свој суфикс на верзију кернела.

Одвојите време да прегледате нове одлике које укључујете!

Напомена: Уколико у радном директоријуму линукс језгра који желимо да конфигуришемо (`~/linux-kernel-labs/src/linux`) већ постоји нека претходна конфигурација (`.config`) онда је пре новог подешавања (пре постављања нове `.config` датотеке!) препоручено извршити команду `'make distclean'` како не би дошло до мешања датотека и евентуално појаве грешке при превођењу и увезивању коначне верзије кернел језгра. **Такође, не заборавите да подесите `ARCH` и `CROSS_COMPILE` варијабле.**

ПРЕВЕДИТЕ КЕРНЕЛ

Потребно је само да покренете:

```
make -j4
```

Након превођења, уколико је верзија кернела новија (прочитати верзију у `.config` датотеци) од оне коришћене у `nfsrootLab` коренском систему датотека, додајте нове модуле командом:

```
make modules_install INSTALL_MOD_PATH=<putanja do nfsrootLab direktorijuma>
```

Линукс курс 2022/2023

ПОКРЕТАЊЕ КЕРНЕЛА СА `nfsrootLab` КОРЕНСКИМ СИСТЕМОМ ДАТОТЕКА ПРЕКО МРЕЖЕ

Уколико није инсталиран, инсталирајте NFS сервер: `nfs-kernel-server` пакет. Након тога, измените `/etc/exports` датотеку као `root` и додајте путању до вашег коренског система датотека (`nfsrootLab`), као и IP путању до RPI плоче.

Након тога, рестартујте NFS сервер:

```
sudo service nfs-kernel-server restart
```

По потреби подесите путању до директоријума са коренским системом датотека у `bootargs` у `u-boot-y`.

Покрените кернел. Не заборавите да претходно прекопирате нову слику кернела и `.dtb` датотеку.

Шта се дешава?

ДОДАВАЊЕ УРЕЂАЈА У КОРЕНСКИ СИСТЕМ ДАТОТЕКА

Позиционирајте се у ваш мрежни коренски систем датотека.

Креирајте `tttyAMA0` датотеку карактерног уређаја са бројевима 204 и 64.

Уколико је потребно, додајте још датотека уређаја.

Сада креирајте `dev/console` уређај који недостаје. Можете проверити `/dev/console` датотеку уређаја на радној машини да пронађете тип датотеке, као и велике и мале бројеве.

Поново покрените RPI плочу. Проверите да ли постоји `console` у `dev` директоријуму који сте креирали. Покрените неколико команди.

Линукс курс 2022/2023

РОТИРАЊЕ КОНЗОЛЕ

Повежите RPI са монитором HDMI каблом.

Укључите у конфигурацији опцију за ротирање конзоле и додајте ротацију у аргументе који се прослеђују кернелу. Више информација пронађите у `Documentation/fb/fbcon.txt`.

Поново покрените RPI са новим изменама.

АНИМАЦИЈЕ

Креирајте `fb0` датотеку карактерног уређаја са бројевима 29 и 0 на RPI плочи.

Ако сте исправно додали опције за `direct framebuffer` подршку, моћи ћете, после додавања потребних датотека уређаја, да покренете анимације на RPI плочи:

```
df_andi
```

```
df_texture
```

Има и осталих, потражите их на плочи!

БЕРЗИЈА КЕРНЕЛА

Проверите верзију кернела и будите сигурни да користите вашу верзију кернела тако што ћете прочитати суфикс са верзије кернела.

САЧУВАЈТЕ СВЕ ИЗМЕНЕ

Да бисте потврдили и сачували све измене, најбоље је да их додате, а потом и локално комитујете на GIT, док сте позиционирани у неки од директоријума репозиторијума који је мењан, нпр. `~/linux-kernel-labs` и исто за `~/linux-kernel-labs/src/linux`:



Линукс курс 2022/2023



```
git add -A
```

```
git commit -as -m "lab05 done"
```

Да би измене постале видљиве и у репозиторијуму на серверу, потребно би још било урадити нпр. `git push`, али то у овом случају није неопходно нити имамо неопходна права за то.

Линукс курс 2022/2023

Писање и превођење модула

ЦИЉ

Научити како се пишу и преводе модули.

ИСХОД

Након ове вежбе ћете моћи да:

- Напишете кернел модул са неколико могућности, укључујући параметре
- Приступите кернелу из вашег модула
- Поставите окружење за превођење модула
- Додате код вашег модула у кернел стабла и да изградите кернел закрпу из вашег новог изворног кода
- Креирате једноставан знаковни руковалац
- Добијете од кернела слободан `major` број и направите одговарајућу датотеку уређаја
- Коришћењем `kmalloc` и `kfree` функција управљате меморијом.

ПОСТАВКА

Позиционирајте се у директоријум `~/linux-kernel-labs/src/linux` који садржи кернел за RPI са `github` репозиторијума <https://github.com/raspberrypi/linux> и затим направите нову грану `lab07` и позиционирајте се у исту:

```
git checkout -b lab07 8e1110a580887f4b82303b9354c25d7e2ff5860e
```

Линукс курс 2022/2023

Позиционирајте се у директоријум `~/linux-kernel-labs/modules` који садржи коренски систем датотека за RPI и затим од полазне гране `master` направите нову грану `lab07` и позиционирајте се у исту:

```
git checkout master
```

```
git checkout -b lab07
```

КОНФИГУРАЦИЈА И ПОКРЕТАЊЕ ЛИНУКС КЕРНЕЛА

За конфигурацију кернела је потребно искористити подразумевану конфигурацију за `bcm2709` (`bcm2709_defconfig`). Пре постављања конфигурације и покретања превођења кернела потребно је подесити одговарајуће окружење за унакрсно превођење (`ARCH` и `CROSS_COMPILE`). Након примене подразумеване конфигурације додатно подесити сопствени суфикс за верзију кернела. Преведени кернел покренути из `U-boot-a`. За `rfs` користити директоријум `nfsroot` преко мреже.

ПИСАЊЕ И ПРЕВОЂЕЊЕ МОДУЛА

Позиционирати се у `nfsroot/root/hello` директоријум. Попунити `hello_version.c` датотеку са одговарајућим кодом тако да се при учитавању модула прикаже порука:

```
Hello Master. You are currently using Linux <release>.
```

Верзија кернела може да се прочита из поља структуре `init_uts_ns` (подсетник: за брзу претрагу Линукс кернел `source` кода користите <https://elixir.bootlin.com/>).

Такође, потребно је приказати и поздравну поруку приликом уклањања модула.

У истом директоријуму се налази и `Makefile` датотека која омогућава превођење модула ван структуре кернел стабла. Упознајте се са садржајем ове датотеке, по потреби прилагодите путање и преведите модул.

Линукс курс 2022/2023

Напомена: Обавезно је поставити окружење за унакрсно превођење и приликом превођења модула.

ТЕСТИРАЊЕ МОДУЛА – САВЕТИ

Учитати нови модул. Проверити да ли ради као што је очекивано. Док не проради, уклонити га, модификовати код, превести и поново покренути колико год је пута потребно.

Покренути команду за проверу учитаних модула. Након тога, покушати доћи до исте информације само коришћењем `cat` команде.

ДОДАВАЊЕ ПАРАМЕТАРА У МОДУЛ

Додати “who” параметар у модул. Модул би требало да испише “Hello <who>...” уместо “Hello Master...”.

Превести и тестирати модул проверавајући да ли прихвата `who` параметар при читавању.

ДОДАВАЊЕ ИНФОРМАЦИЈЕ О ВРЕМЕНУ

У поруку која се исписује приликом уклањања модула додати информацију о протеклом времену од читавања модула.

За добављање тренутног времена се може користити функција `ktime_get_real_seconds`.

ЈЕДНОСТАВАН ЗНАКОВНИ РУКОВАЛАЦ

Претворити модул у једноставан знаковни рукавалац. Препустити кернелу доделу `major` броја, а за `minor` број користити 0. Попунити `read`, `write` и `ioctl` операције модула на следећи начин:

Линукс курс 2022/2023

read

Попунити бафер из корисничког простора садржајем бафера динамички заузетог приликом иницијализације модула.

write

Потребно је прослеђени стринг из корисничког простора сместити у унапред динамички заузет бафер.

ioctl

У зависности од прослеђене команде урадити следеће:

- 0 – пребацити цео садржај бафера динамички заузетог приликом иницијализације модула у мала слова
- 1 - пребацити цео садржај бафера динамички заузетог приликом иницијализације модула у велика слова

Омогућити приступ модулу из корисничког простора креирањем одговарајуће датотеке уређаја уколико је потребно тестирати и додате функције. За тестирање `write` операције користити команду `echo`, за `read` операцију користити команду `cat`, а за `ioctl` операцију превести `ioctl.c` са истим преводиоцем и обавезно **статичким увезивањем** (опција `-static`) и користити добијени програм као тестни.

ЛИНУКС СТАНДАРД КОДОВАЊА

Приликом кодовања требало би да се придржавате стриктних стандарда кодовања, уколико желите да једног дана и тај код буде укључен у изворни код Линукса. Један од главних разлога за то је читљивост кода. Ако би свако користио свој стил, узимајући у обзир велики број контрибутора, читање кода кернела би било веома непријатно.

Срећом, Линукс кернел заједница нуди алат за проверу доследности у придржавању стандарду кодовања.

Покрените `scripts/checkpatch.pl -h` команду у изворном коду кернела да бисте проверили доступне опције. Након тога покрените:

Линукс курс 2022/2023

```
~/linux-kernel-labs/src/linux/scripts/checkpatch.pl --file  
--no-tree hello_version.c
```

Проверите колико недоследности је пријављено за ваш код и унесите исправке док год има недоследности. Уколико је пријављено много грешака, проверите да ли вам је на коректан начин конфигурисан едитор, према правилима стила кодовања кернела из `Documentation/CodingStyle`.

ДОДАВАЊЕ HELLO_VERSION КОДА У КЕРНЕЛ КОД

Додати изворни код модула у `drivers/misc/` директоријум у кернел коду. Модификовати одговарајуће конфигурационе датотеке и `Makefile` како би модул постао видљив у конфигурационим алатима (`xconfig`, `menuconfig`...) и како би могао да се преведе заједно са кернелом.

Када модул постане видљив у конфигурационим алатима изабрати да се преводи као модул. Покренути превођење кернела. По завршетку превођења кернела, модуле инсталирати у `nfsroot` командама:

```
sudo chown -R student.student <putanja do nfsroot direktorijuma>/lib/  
make modules_install INSTALL_MOD_PATH=<putanja do nfsroot dir>  
sudo chown -R root.root <putanja do nfsroot direktorijuma>/lib/
```

КРЕИРАЊЕ ЗАКРПЕ

Креирати закрпу која ће додавати изворни код новог модула у чист кернел код, али и извршити потребне промене у конфигурационим датотекама и `Makefile`-овима.

Тестирати закрпу применом на чист кернел код.

САЧУВАЈТЕ СВЕ ИЗМЕНЕ

Да бисте потврдили и сачували све измене, најбоље је да их додате, а потом и локално комитујете на `GIT`, док сте позиционирани у неки од

директоријума репозиторијума који је мењан, нпр. `~/linux-kernel-labs` и исто за `~/linux-kernel-labs/src/linux`:

```
git add -A
```

```
git commit -as -m "lab07 done"
```

Да би измене постале видљиве и у репозиторијуму на серверу, потребно би још било урадити нпр. `git push`, али то у овом случају није неопходно нити имамо неопходна права за то.