

Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Un progetto divertente

Angelo Dureghello
angelo.dureghello@timesys.com

Sabato 22 Ottobre 2022



Angelo Dureghello

- grande interesse per l'open-source, elettronica e sistemi embedded
- attivo come programmatore su sistemi embedded dal 2001
- mainline Linux kernel contributor, 49 patch (author), 87 contributi totali (log msg), 3 driver completi, 1 driver-maintainer flag.

`https://git.kernel.org/pub/scm/linux/kernel/git/torvalds/linux.git/log/?h=v6.0&q=author&q=dureghello`

- U-boot custodian architetture m68k/ColdFire
- progettista di alcune schede linux-embedded (amcore, stmark2, codice in kernel mainline)
- speaker a ELCE 2016, FOSDEM 2020, UNITS, linux-day nazionali e cittadini
- lavora per Timesys Corporation, Pittsburgh, vive e lavora a Trieste, Italy

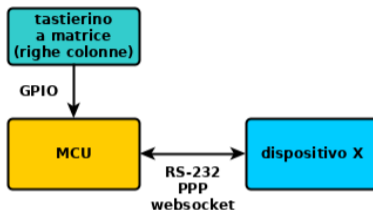


La richiesta

Una tastierina, circa 20 tasti, deve comunicare su porta seriale (websocket over ppp) con un dispositivo professionale



Initramps e websocket su Banana Pi M2 Zero



- si può fare con un microcontrollore, un Cortex-M, ad esempio stm32 calza bene
 - progettare l'hw, o trovare una scheda sul mercato, non troppo grande
 - implementazione bare-metal non troppo complessa
 - utilizzare, per quanto possibile, librerie specifiche
 - il tutto andrebbe realizzato in 2 o 3 settimane

tuttavia tempo e voglia sono pochi, a meno che ...

perche' diavolo websocket per trasferire 4 comandi in seriale ...,
perche' diavolo devo farmi torturare lavorando la notte ...,

nessuna voglia .. a meno che ...

non ci si diverta di più,
con Linux :)



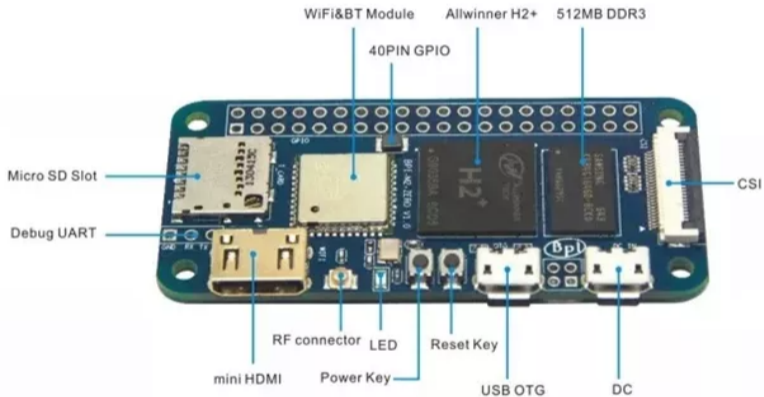
Concordato l'utilizzo di Linux si procede ...

- ricercare una scheda economica
- poter effettuare un boot veloce, qualche secondo
- affidabile
- riavvio su power-off brutale, ritrovare sistema integro
- scheda alimentata dal dispositivo, consumo deve rientrare in certi limiti

Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Banana Pi M2 Zero v1.0

- Quad Core
- 32 Bit
- 512MB DDR3
- WIFI & BT



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Banana Pi M2 Zero v1.0

- cpu AllWinner H2+ 1.2GHz (quad core ARM Corex-A7, un H3 piu economico)
- 1 chip DDR3 SK hynix H5TQ4G63CFR 4Gbit (1GB)
- SD card
- wifi/bt (not used)
- USB OTG
- uscita HDMI
- ingresso CSI
- 2 UART
- Vari GPIO



Initramps e websocket su Banana Pi M2 Zero

Caratteristiche del progetto

- boot, da SD, piu veloce possibile (200ms tempo morto)
- bootloader, u-boot con configurazione appropriata,
- kernel mainline, configurazione minimale
- root file system minimale e affidabile
- busybox configurazione minimale
- applicativo c++
- tastiera, hw da progettare



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

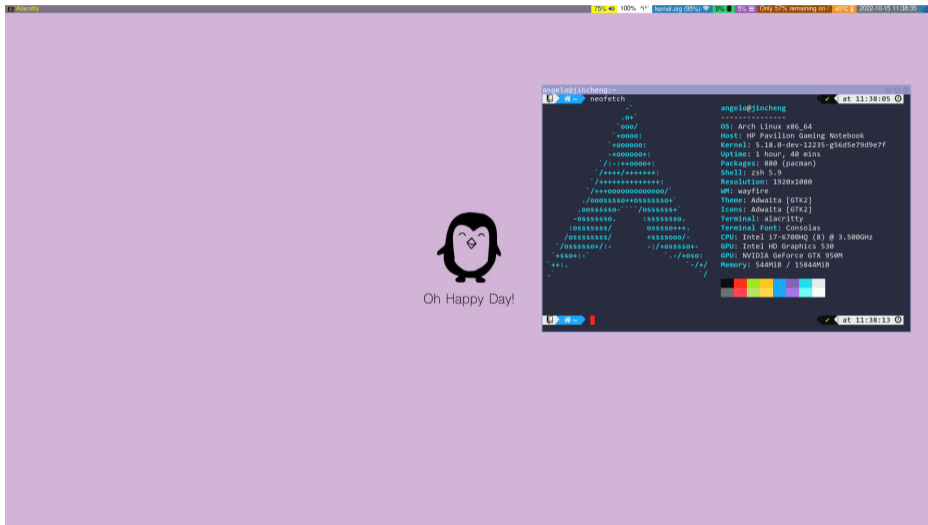
Struttura SD card

```
1  +-----+ 0
2  | MBR (part table) |
3  +-----+ 8192
4  | BOOTLOADER:      |
5  | u-boot SPL       | Ref. Manual,
6  | u-boot           | ROM bootloader legge SD a offset 8KB
7  +-----+
8  | part 1, 512M, ext2
9  |
10 | kernel +         | Unico binario, initramfs e' un archivio cpio.gz
11 | devicetree +     | "attaccato" alla fine del binario del kernel
12 | - - - - - - - - |
13 | initramfs:       | app c++ e' compresa dentro all'initramfs
14 | busybox init,    |
15 | ash, tools bb    |
16 | ppp,             |
17 | app c++          |
18 |
19 +-----+ part 2, ext4
20 | unused           |
21 +-----+
```



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Development Host PC



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

U-boot

- partenza da una versione dal codice mainline, ad esempio 2021-10-08, (git clone ... ; git checkout v2021.10; git checkout -b wip/zerostress)
- necessario U-boot SPL (sram internal piccola, 64KB)
- :(Falcon boot (SPL->kernel) non utilizzabile (non implementato per H2+)
- usata la configurazione della board **bananapi_m2_zero** esistente su cui si applicano alcune modifiche per velocizzare il boot



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

U-boot - configs/bananapi_m2_zero_defconfig

```
1 CONFIG_ARM=y
2 CONFIG_ARCH_SUNXI=y
3 CONFIG_DEFAULT_DEVICE_TREE="sun8i-h2-plus-bananapi-m2-zero"
4 CONFIG_SPL=y
5 ...
6 CONFIG_BOOTDELAY=-2
7 ...
8 CONFIG_SYS_PROMPT="zerostress # "
9 ...
10 # CONFIG_CMD_GPT is not set
11 # CONFIG_ISO_PARTITION is not set
12 # CONFIG_ENV_IS_IN_FAT is not set
13 # CONFIG_ENV_IS_IN_MMC is not set
14 ...
```



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

U-boot - include/config_distro_bootcmd.h

Initramfs sara' concatenato al binario del kernel

```
1  + #undef CONFIG_BOOTCOMMAND
2  #ifndef CONFIG_BOOTCOMMAND
3  - #define CONFIG_BOOTCOMMAND "run distro_bootcmd"
4  + #define CONFIG_BOOTCOMMAND "setenv bootargs " \
5  +   "console=${console} rdinit=/sbin/init; " \
6  +   "mmc dev 0; " \
7  +   "load mmc 0:1 ${kernel_addr_r} zImage; " \
8  +   "load mmc 0:1 ${fdt_addr_r} " \
9  +   "sun8i-h2-plus-bananapi-m2-zero.dtb; " \
10 +   "bootz ${kernel_addr_r} - ${fdt_addr_r}"
11 #end
```



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

U-boot - compilazione

- scaricare una "toolchain" per la cross-compilazione da:
https://developer.arm.com/-/media/Files/downloads/gnu-a/8.3-2019.03/binrel/gcc-arm-8.3-2019.03-x86_64-arm-linux-gnueabi.tar.xz?revision=e09a1c45-0ed3-4a8e-b06b-db3978fd8d56&rev=e09a1c450ed34a8eb06bdb3978fd8d56&hash=EFF6A5D00F2F48194BA9FF99EF044990BE996BE0
- estrarla nel percorso /opt/toolchains/arm/
- scaricare codice u-boot-zerostress (con modifiche)

```
git clone --branch wip/zerostress \
    https://gitlab.com/spectrum70/u-boot-zerostress.git
```
- ./build.sh
(demo)



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

U-boot - scrittura su SD

- Preparazione SD, creare 2 partizioni (fdisk):

prima: da sect 2048 +500M

(offset 1M, cambiarlo se bootloader e' piu grande, ora 398K)

seconda: tutto il resto

formattare rispettivamente ext2 e ext4

- Scrittura in blocco di U-boot SPL + U-boot (zona tra mbr e prima partizione)
`sudo dd if=u-boot-sunxi-with-spl.bin of=/dev/sdc bs=1024 seek=8`



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

U-boot - test

```
U-Boot SPL 2021.10-00602-gafd4504931 (Oct 15 2022 - 14:49:10 +0200)
DRAM: 512 MiB
Trying to boot from MMC1

U-Boot 2021.10-00602-gafd4504931 (Oct 15 2022 - 14:49:10 +0200) Allwinner Technology

CPU:   Allwinner H2+ (SUN8I 1680)
Model: Banana Pi BPI-M2-Zero
DRAM:  512 MiB
MMC:   mmc@1c0f000: 0, mmc@1c10000: 2
Loading Environment from nowhere... OK
In:    serial
Out:   serial
Err:   serial
switch to partitions #0, OK
mmc0 is current device
Failed to load 'uImage'
Failed to load 'sun8i-h2-plus-bananapi-m2-zero.dtb'
Wrong Image Format for bootm command
ERROR: can't get kernel image!
zerostress #
```



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Kernel Linux - preparazione

- prepariamo ora il kernel minimale

- sorgenti

```
git clone --branch wip/sunxi \  
    https://gitlab.com/spectrum70/linux-zerostress.git
```

- diamo un'occhiata a `arch/arm/configs/zerostress_defconfig`
- diamo un'occhiata a `arch/arm/boot/dts/sun8i-h2-plus-bananapi-m2-zero.dts`
- **pochi moduli, tutti built-in**



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Kernel Linux - arch/arm/configs/zerostress_defconfig

```
CONFIG_DEFAULT_HOSTNAME="zerostress"
...
CONFIG_BLK_DEV_INITRD=y
CONFIG_INITRAMFS_SOURCE="../../erg/initramfs.cpio.gz" <==== initramfs (da preparare in seguito)
...
CONFIG_INPUT_EVDEV=y <====
# CONFIG_KEYBOARD_ATKBD is not set <====
CONFIG_KEYBOARD_MATRIX=y <====
...
CONFIG_PPP=y <====
CONFIG_PPP_BSDCOMP=y
CONFIG_PPP_DEFLATE=y
CONFIG_PPP_FILTER=y
CONFIG_PPP_MULTILINK=y
CONFIG_PPPOE=y
CONFIG_PPP_ASYNC=y
...
```



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Kernel Linux - arch/arm/boot/dts/sun8i-h2-plus-bananapi-m2-zero.dts

```
matrix-keypad {
    compatible = "gpio-matrix-keypad";
    pinctrl-names = "default";
    debounce-delay-ms = <5>;
    col-scan-delay-us = <2>;
    /*
     * Set disabled cols ad unactive (driven), otherwise
     * default is to set them as hi-z (input).
     */
    drive-inactive-cols;
    row-gpios = <&pio 0 7 GPIO_ACTIVE_HIGH
                &pio 0 8 GPIO_ACTIVE_HIGH
                &pio 0 9 GPIO_ACTIVE_HIGH
                &pio 0 10 GPIO_ACTIVE_HIGH
                &pio 0 11 GPIO_ACTIVE_HIGH>;

    col-gpios = <&pio 0 17 GPIO_ACTIVE_HIGH /* P37 */
                &pio 0 15 GPIO_ACTIVE_HIGH /* P16 */
                &pio 0 16 GPIO_ACTIVE_HIGH /* P12 */
                &pio 0 20 GPIO_ACTIVE_HIGH /* P40 */
                &pio 0 21 GPIO_ACTIVE_HIGH>; /* P38 */

    /* row - col - keycode */
    linux,keymap = <0x00000002
                   0x00010003
                   0x00020004
```



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Kernel Linux - building

- assicurarsi di avere installata la cross-toolchain (stessa usata per u-boot) in `/opt/toolchains/arm`
- dalla directory dei sorgenti del kernel eseguire:
`./build-zs.sh`
(demo)



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Initramfs - scelta del filesystem

- prepariamo ora il root-file-system (rootfs)
- vogliamo un sistema rtiparta sempre identico, integro
- diverse possibilita':
 - romfs (fs non compresso, read-only, modulo kernel minimale (4K))
 - cramfs (fs compresso, read-only, efficiente, legacy, limiti del filesize, sostituito da squashfs)
 - squashfs (fs compresso, read-only, efficiente, nessuna limitazione del filesize)
- ma vogliamo abilita' a scrittura, read-write (log, debug)
 - initrd (o ramdisk, in ram, ma visto come block-device, legacy)
 - **initramfs (o ramfs, in ram, archivio cpio, non visto come block-device)**
 - tmpfs (derivato di ramfs, ma con limiti di spazio in memoria)



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Initramfs - initramfs

- nei PC initramfs e' un file system di passaggio, per agevolare il boot del PC, inizializzare alcuni device, e montare in fine il rootfs definitivo (molti conoscono "update-initramfs" or "mkinitramfs")
- e' l'utilizzo piu noto, ma non il solo
- nell'embedded e' utilizzato anche come:
 - filesystem minimale di passaggio, con busybox e pochi tools, per autenticazione e montaggio dm-verity
 - filesystem finale (se la ram dinamica può contenerlo)



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Initramfs - creazione

- come si crea ? Si deve prima preparare l'albero (rootfs) sul pc locale
- si genera con un semplice comando un archivio cpio, e si comprime (.gz)
- preparazione rootfs si può fare con qualsivoglia distribuzione embedded, Yocto, buildroot, uclinux, etc etc
- per questo progetto, per evitare che il rootfs generato contenga pacchetti indesiderati, e' stato utilizzato un piccolo build system che esegue la compilazione ogni pacchetto, sullo stile di "Linux from Scratch"
- useremo quindi questo semplice build system chiamato "erg"



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Initramfs - creazione

- assicurarsi di avere installata la cross-toolchain (stessa usata per u-boot) in `/opt/toolchains/arm`
- scaricare erg
`git clone git@gitlab.com:spectrum70/erg.git`
- possibile configurare busybox break `./go.sh bpizero --config`
- creare initramfs eseguendo:
`./go.sh bpizero`
- risultato visibile in **targetfs**
- ricompilare ora il kernel, perche' deve includere l'intramfs nello stesso binario (demo)



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Initramfs - copia del kernel che include initramfs

- copiare kernel e devicetree nella prima partizione

```
mkdir /mnt/sd  
sudo mount /dev/sdd1 /mnt/sd  
sudo cp uImage /mnt/sd  
sudo cp arch/arm/boot/dts/sun8i-h2-plus-bananapi-m2-zero.dtb /mnt/sd  
sudo umount /dev/sd
```



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Initramfs - initramfs

```
...
Err:  serial
switch to partitions #0, OK
mmc0 is current device
21098112 bytes read in 905 ms (22.2 MiB/s)
24729 bytes read in 4 ms (5.9 MiB/s)
## Booting kernel from Legacy Image at 42000000 ...
   Image Name:   mainline kernel
   Image Type:   ARM Linux Kernel Image (uncompressed)
   Data Size:    21098048 Bytes = 20.1 MiB
   Load Address: 40008000
   Entry Point:  40008000
   Verifying Checksum ... OK
## Flattened Device Tree blob at 44000000
   Booting using the fdt blob at 0x44000000
   Loading Kernel Image
   Loading Device Tree to 49ff6000, end 49fff098 ... OK

Starting kernel ...

Sysam erg distribution
Welcome !
```

```
BusyBox v1.34.0 (2022-10-15 23:48:47 CEST) built-in shell (ash)
Enter 'help' for a list of built-in commands.
```



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Initramfs - tastierino a matrice

il kernel supporta la tastiera a matrice tramite alcuni GPIO per ingressi righe e colonne:

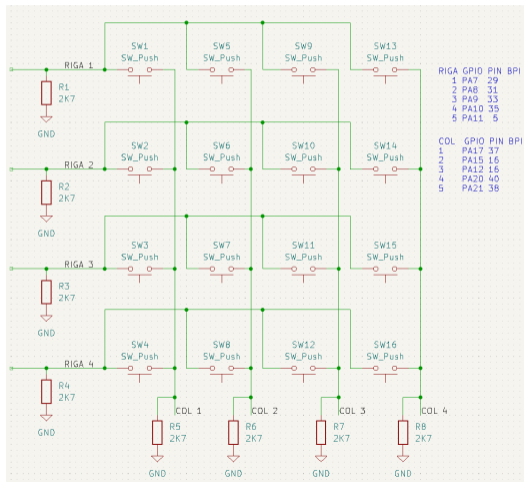
- devicetree (definizione gpio e codici)
- nodo fdt: compatible = "gpio-matrix-keypad";
vedere [arch/arm/boot/dts/sun8i-h2-plus-bananapi-m2-zero.dts](#)
- vedere [Documentation/devicetree/bindings/input/matrix-keymap.yaml](#)
- driver [drivers/input/keyboard/matrix_keypad.c](#)
- si abilita tramite CONFIG_KEYBOARD_MATRIX=y
([drivers/input/keyboard/makefile](#))
obj-\$(CONFIG_KEYBOARD_MATRIX) += matrix_keypad.o
- continue scansioni delle righe, cuore e' funzione matrix_keypad_scan()
https://elixir.bootlin.com/linux/v5.14.21/source/drivers/input/keyboard/matrix_keypad.c#L114



Initramps e websocket su Banana Pi M2 Zero

Initramps - tastierino a matrice

Lo schema tradizionale riconosciuto dal driver:



Initramps e websocket su Banana Pi M2 Zero

Initramps - tastierino a matrice, funzionamento

- 1 colonne attivate (messe a 1 = 3.3V)
- 2 chiudendo un tasto su qualsiasi riga scatta un interrupt (risign/falling edge)
- 3 si avvia un thread separato
 - 1 colonne disabilitate (input)
 - 2 viene abilitata la prima/prossima colonna
 - 3 si controlla ogni riga (pull-down) se e' attiva, si salva l'origine (col/riga)
 - 4 viene disabilitata la colonna e si passa alla seguente (loop a 2)
 - 5 un ulteriore ciclo esamina il tasto salvato e genera/spara l'evento



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

Initramfs - tastierino a matrice

Lo schema dei connettori si trova qui:

https://wiki.banana-pi.org/Banana_Pi_BPI-M2_ZERO

Test del tastierino si può effettuare tramite tool **"evtest"**

```
/ # evtest
...
Testing ... (interrupt to exit)
Event: time 30148.093172, type 4 (EV_MSC), code 4 (MSC_SCAN), value 03
Event: time 30148.093172, type 1 (EV_KEY), code 5 (KEY_4), value 1 <- key down
Event: time 30148.093172, ----- SYN_REPORT -----
Event: time 30148.248142, type 4 (EV_MSC), code 4 (MSC_SCAN), value 03
Event: time 30148.248142, type 1 (EV_KEY), code 5 (KEY_4), value 0 <- key up
Event: time 30148.248142, ----- SYN_REPORT -----
/ #
```



Initramps e websocket su Banana Pi M2 Zero

Connessione ppp

- avvio automatico al boot
- `etc/rc.d/startup` esegue `/root/ppp.sh`
- `ppp.sh` avvia ppp

```
pppd persist noauth nocrtscts local defaultroute \  
169.254.1.2:169.254.1.1 /dev/ttyS1 115200
```



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

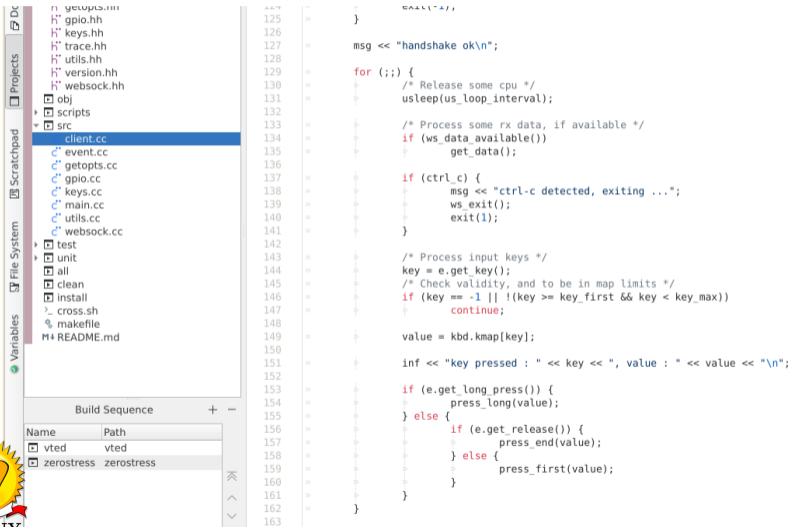
websocket - semplice applicativo c++

- applicativo "zerostess" minimale, implementato in c++
- websocket minimale, implementato nella stessa applicazione, nessuna libreria
- con un semplice loop, alla pressione di un tasto, il comando specifico di protocollo viene inviato al dispositivo remoto connesso alla nostra banana pi m2 zero
- lo stesso loop controlla se il dispositivo remoto ci invia qualche risposta



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

websocket - semplice applicativo c++



The screenshot shows a C++ IDE with a project structure on the left and source code in the main editor. The project structure includes a 'src' directory with files like 'client.cc', 'event.cc', 'getopts.cc', 'gpio.cc', 'keys.cc', 'main.cc', 'utils.cc', and 'websocket.cc'. The main editor displays the code for 'client.cc', which includes headers for 'getopts.h', 'gpio.h', 'keys.h', 'trace.h', 'utils.h', and 'version.h'. The code implements a websocket client that handles handshake, processes rx data, and responds to key presses.

```
125 }
126
127
128
129 msg << "handshake ok\n";
130
131 for (;;) {
132     /* Release some cpu */
133     usleep(us_loop_interval);
134
135     /* Process some rx data, if available */
136     if (ws_data_available())
137         get_data();
138
139     if (ctrl_c) {
140         msg << "ctrl-c detected, exiting ...";
141         ws_exit();
142         exit(1);
143     }
144
145     /* Process input keys */
146     key = e.get_key();
147     /* Check validity, and to be in map limits */
148     if (key == -1 || !(key >= key_first && key < key_max))
149         continue;
150
151     value = kbd.kmap[key];
152
153     inf << "key pressed : " << key << ", value : " << value << "\n";
154
155     if (e.get_long_press()) {
156         press_long(value);
157     } else {
158         if (e.get_release()) {
159             press_end(value);
160         } else {
161             press_first(value);
162         }
163     }
164 }
165 }
```



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

websocket - semplice applicativo c++

codice:

```
git clone https://gitlab.com/spectrum70/zerostress.git
```



Initramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

websocket - semplice applicativo c++

```
/tests # ./local.sh
application starting ...
gpio setup ...
connecting to 127.0.0.1:9998 ...
connected
starting handshake ...
handshake sent
wait_for_http_response() receiving
00000000 47 45 54 20 2f 63 68 61 74 20 48 54 54 50 2f 31 |GET /chat HTTP/1|
00000010 2e 31 0d 0a 48 6f 73 74 3a 20 7a 65 72 6f 73 74 ||.1..Host: zerost|
00000020 72 65 73 73 2e 63 6f 6d 0d 0a 55 70 67 72 61 64 |ress.com..Upgrad|
00000030 65 3a 20 77 65 62 73 6f 63 6b 65 74 0d 0a 43 6f |e: websocket..Co|
00000040 6e 6e 65 63 74 69 6f 6e 3a 20 55 70 67 72 61 64 |nnection: Upgrad|
00000050 65 0d 0a 53 65 63 2d 57 65 62 53 6f 63 6b 65 74 |e..Sec-WebSocket|
00000060 2d 4b 65 79 3a 20 78 33 4a 4a 48 4d 62 44 4c 31 |-Key: x3JJHmBDL1|
00000070 45 7a 4c 6b 68 39 47 42 68 58 44 77 3d 3d 0d 0a |EzLkh9GBhXDw==..|
00000080 53 65 63 2d 57 65 62 53 6f 63 6b 65 74 2d 56 65 |Sec-WebSocket-Ve|
key event : 24, mapped to : 23
key event, key 24, down !
00000090 72 73 69 6f 6e 3a 20 31 33 0d 0a 0d 0a 81 89 de |rsion: 13.....|
key event : 24, mapped to : 23
key event, key 24, up !
000000a0 ad be af b5 c8 c7 8f ba c2 c9 c1 d4 81 87 de ad |.....|
key event : 25, mapped to : 24
key event, key 25, down !
```



Initramps e websocket su Banana Pi M2 Zero

letture

Documentazioni sempre aggiornate (mainline):

Kernel sources /Documentation

U-boot sources /doc

Mastering Embedded Linux Programming
by Chris Simmonds (Author)



Domande ?

Iniramfs e websocket su Banana Pi M2 Zero

websocket - semplice applicativo c++

Grazie !!

