



Introdução ao NuttX

Espressif Summit Brasil 2024



Quem somos?

Tiago Medicci

Engenheiro Eletricista e Mestre em Eng. Eletrônica pela Unicamp. Amante de eletrônica e áudio. Maker. Engenheiro de Software na Espressif.

Filipe Cavalcanti

Engenheiro Eletricista e Mestre em Eng. Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba. Engenheiro de Software na Espressif. Aspirante a guitarrista.



O que é o NuttX?

ChatGPT-generated? Yes 😊

O NuttX é um sistema operacional em tempo real (RTOS) que visa fornecer uma plataforma escalável e eficiente para sistemas embarcados. Ele é baseado no padrão POSIX e é projetado para ser altamente configurável e "portável".



RTOS?

Software Embarcado

- Bare-metal
- Sistemas operacionais
 - Sistemas operacionais de tempo real (RTOS)
 - Linux Embarcado



RTOS (Real-Time Operating System)

Wikipedia (em tradução livre):

Sistemas operacionais em tempo real são orientados a eventos e preemptivos, o que significa que o sistema operacional pode monitorar a prioridade relevante de tarefas concorrentes e fazer alterações na prioridade da tarefa. Sistemas orientados a eventos alternam entre tarefas com base em suas prioridades, enquanto sistemas de compartilhamento de tempo alternam a tarefa com base em interrupções de relógio.

Wikipedia: [Real-time operating system](#), acesso em 08/01/2024.



Operating system	First commit	Governance	License	Contributors	Pulse*(jun10/2024)
Zephyr	2014	community	Apache 2.0	100+	942
NuttX	2007	community	Apache 2.0	100+	135
RT-Thread	2009	community	Apache 2.0	100+	67
RIOT	2010	community	LGPL2.1	100+	71
Tyzen RT	2015	Samsung	Apache 2.0	100+	36
myNewt	2015	Community	Apache 2.0	100+	25
mbed OS	2013	ARM	Apache 2.0 or BSD-3 Clause	100+	7
FreeRTOS	2004	Richard Barry	MIT	100+	6
Contiki-NG	2016	community	BSD-3 Clause	100+	4
CMSIS-5	2016	ARM	Anache 2.0	100+	0

***Pulse** é uma métrica que avalia atividades no repositório, como pull-requests e issues durante um certo tempo.

^{Tabela original por Alin Jerpelea, apresentada em NuttX Workshop 2024 [<https://www.youtube.com/watch?v=N0O3dV6fzwl&t=616s>]}



Por que o NuttX?

- Licença: Apache 2.0
- Small footprint
 - Suportado do Z80 a RISC-V 64 bits
- Ampla comunidade

E... 



ChatGPT 3.5 ▾



You

Por favor, qual o programa mais comum em C?



ChatGPT 3.5

You

Por favor, qual o programa mais comum em C?

ChatGPT

Em C, um dos programas mais comuns e simples que você pode escrever é um programa "Hello, World!". Este programa básico imprime a mensagem "Hello, World!" na tela. Aqui está um exemplo:

```
c
#include <stdio.h>

int main() {
    printf("Hello, World!\n");
    return 0;
}
```

Este programa utiliza a biblioteca padrão `stdio.h` para acessar a função `printf`, que é usada para imprimir texto no console. O `main` é a função principal que é executada quando o programa é iniciado.

Além disso, em C, você encontrará muitos programas relacionados a operações comuns, como manipulação de arrays, ordenação, leitura e escrita de arquivos, alocação dinâmica de memória, entre outros. O tipo de programa mais comum dependerá do contexto e dos requisitos específicos do projeto em que você está trabalhando.

Get citation

```
#include <stdio.h>

int main() {
    printf("Hello, World!\n");
    return 0;
}
```



Ainda perguntando ao chatGPT... 🤔

ChatGPT 3.5 ▾



You

Legal. Você poderia também procurar um programa de exemplo bastante utilizado para um TCP echo server, por favor? (por favor, inclua o nome do autor e o livro que foi publicado).



```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <unistd.h>
#include <arpa/inet.h>

#define PORT 8080
#define MAX_BUFFER_SIZE 1024

int main() {
    int server_socket, client_socket;
    struct sockaddr_in server_addr, client_addr;
    char buffer[MAX_BUFFER_SIZE];

    // Criação do socket
    if ((server_socket = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)) == -1) {
        perror("Erro ao criar o socket");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    // Configuração do endereço do servidor
    server_addr.sin_family = AF_INET;
    server_addr.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
    server_addr.sin_port = htons(PORT);

    // Associação do socket ao endereço
    if (bind(server_socket, (struct sockaddr*)&server_addr, sizeof(server_addr)) == -1) {
        perror("Erro ao associar o socket ao endereço");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    // Coloca o socket em modo de escuta
    if (listen(server_socket, 5) == -1) {
        perror("Erro ao colocar o socket em modo de escuta");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    printf("Servidor escutando na porta %d...\n", PORT);

    // Aguarda a conexão do cliente
    socklen_t client_addr_len = sizeof(client_addr);
    if ((client_socket = accept(server_socket, (struct sockaddr*)&client_addr, &client_addr_len)) == -1) {
        perror("Erro ao aceitar a conexão do cliente");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    printf("Cliente conectado: %s\n", inet_ntoa(client_addr.sin_addr));

    // Loop para receber e enviar dados de volta ao cliente
    while (1) {
        ssize_t bytes_received = recv(client_socket, buffer, MAX_BUFFER_SIZE, 0);
        if (bytes_received <= 0) {
            printf("Conexão encerrada pelo cliente.\n");
            break;
        }

        printf("Recebido: %s", buffer);

        send(client_socket, buffer, bytes_received, 0);
        memset(buffer, 0, sizeof(buffer));
    }

    // Fechamento dos sockets
    close(client_socket);
    close(server_socket);

    return 0;
}
```

ChatGPT 3.5 ▾



ChatGPT

Um exemplo clássico de um TCP echo server em C é frequentemente encontrado no livro "Unix Network Programming" de Richard Stevens. O exemplo abaixo mostra um simples TCP echo server em C:



Por que o NuttX?

- Licença: Apache 2.0
- Small footprint
 - Suportado do Z80 a RISC-V 64 bits
- Ampla comunidade

E...



Por que o NuttX?

- Licença: Apache 2.0
- Small footprint
 - Suportado do Z80 a RISC-V 64 bits
- Ampla comunidade
- **Compatível com o padrão POSIX!**



POSIX?

De novo, da *Wikipedia* :

POSIX (um acrônimo para: Portable Operating System Interface, que pode ser traduzido como Interface Portável entre Sistemas Operativos) é uma família de normas definidas pelo IEEE para a manutenção de compatibilidade entre sistemas operacionais e designada formalmente por IEEE 1003. POSIX define a interface de programação de aplicações (API), juntamente com shells de linha e comando e interfaces utilitárias, para compatibilidade de software com variantes de Unix e outros sistemas operacionais.

<https://pt.wikipedia.org/wiki/POSIX>, acesso em 13 de janeiro de 2024.



POSIX! 🙌

De novo, da wikipedia:

Tem como objetivo garantir a portabilidade do código-fonte de um programa a partir de um sistema operacional que atenda às normas POSIX para outro sistema POSIX, desta forma as regras atuam como uma interface entre sistemas operacionais distintos.

<https://pt.wikipedia.org/wiki/POSIX>, acesso em 13 de janeiro de 2024.



POSIX ❤️

_{O Super Trunfo do NuttX! 🖐️}

Reinventing the wheel ❌

Alguém já teve que fazer ~~quase~~ a mesma aplicação que você!

Code reuse ✅

Provavelmente, esta aplicação já foi desenvolvida para sistemas operacionais Unix com interfaces POSIX 😊



Hello World!

Sim, existe um exemplo de Hello World para o NuttX!

Em `nuttx-apps/examples/hello/hello_main.c` :

```
#include <nutt/config.h>
#include <stdio.h>

int main(int argc, FAR char *argv[])
{
    printf("Hello, World!!\n");
    return 0;
}
```



Primeiros Passos com o *Hello World*

```
# Limpa o diretório de trabalho
make -j distclean

# Configurar o exemplo base
./tools/configure.sh esp32s3-devkit:espressif_summit

# Selecionar o exemplo de Hello World
make menuconfig

# Compilar e gravar o firmware
make flash ESPTOOL_PORT=/dev/ttyUSB0 -j$(nproc)

# Acessar o terminal
minicom
```



Primeiros Passos com o *Hello World*

```
nsh> help
help usage:  help [-v] [<cmd>]

.      cp      expr      ln      ps      true
[      cmp      false     ls      pwd      truncate
?      dirname fdinfo    mkdir   readlink uname
alias  dd       free      mkfifo  rm       umount
unalias df       help      mkrd    rmdir    unset
arp    dmesg    hexdump  mount   set      uptime
basename echo    ifconfig mv       sleep    usleep
break  env       ifdown   mv       source   wget
cat    exec     ifup     pidof    test     xd
cd     exit     kill     printf   time

Builtin Apps:
hello    nsh    ping    renew    sh      wapi
iwasm    nxplayer rand    rtpdump stat     wget

nsh> hello
Hello, World!!
nsh>
```



Ainda o *Hello World* - ELF Loader

O NuttX permite que aplicações sejam carregadas dinamicamente. Ou seja, o NuttX permite:

1. Criar um firmware base que carregue as aplicações dinamicamente (de uma memória externa, por exemplo)
2. Atualizar uma aplicação sem atualizar o firmware por inteiro



Ainda o *Hello World* - ELF Loader

```
# Após compilar o NuttX, exporte as configurações e biblioteca utilizadas  
make export
```

Um arquivo `.tar.gz` será gerado no diretório raiz. Este compilado contém os arquivos necessários para compilar uma aplicação a ser carregada dinamicamente.



Ainda o *Hello World* - ELF Loader

O exemplo a seguir contém o programa *Hello World* e um `Makefile` com o seguinte conteúdo:

```
include nuttx-export-10.4.0/scripts/Make.defs

ARCHINCLUDES += -isystem nuttx-export-10.4.0/include
CFLAGS = $(ARCHCFLAGS) $(ARCHWARNINGS) $(ARCHOPTIMIZATION) $(ARCHCPUFLAGS) $(ARCHINCLUDES) $(ARCHDEFINES) $(EXTRADEFINES)
CELFFLAGS = $(CFLAGS) -mtext-section-literals

OBJEXT ?= .o

# This is the generated ELF program

BIN = hello
SRCS = hello.c
OBJS = $(SRCS:.c=$(OBJEXT))

# Build targets

all: $(BIN)
.PHONY: clean

$(OBJS): %$(OBJEXT): %.c
    $(Q) $(CC) -c $(CELFFLAGS) $< -o $@

$(BIN): $(OBJS)
    $(LD) $(LDFLAGS) $(LDELFFLAGS) -o $@ $^
```



Ainda o *Hello World* - ELF Loader

Conectando na rede Wi-Fi

```
nsh> wapi psk wlan0 tijolo22 3
nsh> wapi essid wlan0 NuttX 1
nsh> renew wlan0
nsh> ifconfig
wlan0  Link encap:Ethernet HWaddr 34:85:18:42:f9:e4 at RUNNING mtu 1504
       inet addr:192.168.1.210 DRaddr:192.168.1.1 Mask:255.255.255.0

       IPv4    TCP    UDP    ICMP
Received    0002  0000  0002  0000
Dropped    0000  0000  0000  0000
  IPv4      VHL: 0000   Frg: 0000
Checksum    0000  0000  0000  ----
  TCP       ACK: 0000   SYN: 0000
           RST: 0000  0000
  Type      0000  ----  ----  0000
Sent        0002  0000  0002  0000
Rexmit      ----  0000  ----  ----
```



Ainda o *Hello World* - ELF Loader

Executando o programa `Hello World` compilado externamente:

```
nsh> ls /data
/data:
.
..
wapi.conf
nsh> wget /data/hello2 http://192.168.1.155:8000/hello
nsh> ls /data/
/data:
.
..
hello2
wapi.conf
nsh> /data/hello2
Hello, World!!
nsh>
```




Ainda o *Hello World* - WebAssembly

WebAssembly?

De <https://webassembly.org/>:

WebAssembly (abbreviated Wasm) is a binary instruction format for a stack-based virtual machine. Wasm is designed as a portable compilation target for programming languages, enabling deployment on the web for client and server applications.

Ou seja, permite que um programa seja compilado para o formato WebAssembly e, então, executado em máquinas que possuem uma máquina virtual capaz de interpretar este formato.



Ainda o *Hello World* - WebAssembly

Compilando o programa *Hello World* para **Wasm**:

```
export WASI_SDK_PATH=/home/tiago/Downloads/wasi-sdk-22.0-linux/wasi-sdk-22.0
CC="{WASI_SDK_PATH}/bin/clang" "--sysroot={WASI_SDK_PATH}/share/wasi-sysroot"
"${CC[@]}" hello.c -o hello.wasm

# Executando o programa no computador

$ iwasm hello.wasm
Hello, World!!
```

Baixando e executando o programa no NuttX:

```
nsh> wget /data/hello.wasm http://192.168.1.155:8000/hello.wasm
nsh> iwasm /data/hello.wasm
Hello, World!!
```



(Um pouco mais de) Por que o NuttX?

- Loadable kernel modules, lightweight, embedded shared libraries
- Configurações de Memória: (1) Flat build, (2) Protected build com MPU, e (3) Kernel build com MMU
 - *Flat* RTOS ou compilado separadamente, como um kernel seguro monolítico com uma interface de chamadas de sistema (system calls)
- On-demand paging
- Suporte a diversos Sistema de Arquivos
 - NXFFS , SMART , SPIFFS , LittleFS , ROMFS , TMPFS , etc
- USB Host e USB Device
- Subsistema de gráficos e áudio



Espressif e o NuttX

- **Outubro, 2016**

Primeiro commit pelo próprio Gregory Nutt (criador do NuttX), um mês após o lançamento do ESP32

- **Outubro, 2021**

Espressif anuncia oficialmente suporte aos OSes NuttX e Zephyr (além do ESP-IDF, que continua sendo o OS oficial da Espressif para seus SOCs)

- **Julho, 2024**

NuttX possui suporte a ESP32, ESP32-S2, ESP32-S3, ESP32-C3, ESP32-C6 e ESP32-H2



Complete os espaços em branco 🖋️

"Ah, mas o meu programa é muito específico! Ele lê um dado do sensor _____ pela interface _____ e depois manda para _____ via _____."

OK, mas alguém *provavelmente*:

1. Já implementou um driver para ler o sensor em sistema Linux (incluindo o acesso à interface)
2. Já criou uma aplicação que recebe dados genéricos e os processa (enviando através de alguma interface de rede, por exemplo)



Por exemplo...

Placa de som via Wi-Fi 

Utilizar um ESP32 como uma placa de áudio externa que recebe pacotes via rede Wi-Fi e reproduzi-lo em um codec de áudio I2S.

Trabalhoso? 



Solução

Existe (desde 1996) um protocolo de rede chamado *RTP* (Real-Time Protocol) que é capaz de enviar e receber pacotes de áudio pela rede.

RTP Tools

RTP Tools is a set of small applications that can be used for processing RTP data.

 Utiliza interfaces POSIX para receber pacotes RTP pela rede



RTP Tools no NuttX? Como? 🧐

Artigo no *embarcados.com.br* 📖

NuttX: Criando (ou Copiando!) uma Aplicação para o NuttX

Da série de artigos em português no *embarcados.com.br*:

Primeiros Passos com o ESP32 e NuttX



Real-Time Protocol (RTP)

```
<iframe src="images/rtp.drawio.html" height="600px" width="100%" frameborder="0">  
</iframe>
```



Real-Time Protocol (RTP) - Transmissor

- Ambiente
 - Computador com sistema operacional *Linux*
 - *PulseAudio* (gerenciador de áudio) instalado
 - Módulo *RTP Send*
- Envio de RTP no formato *Pulse-code modulation* (PCM)
 - 2 canais (estéreo)
 - 16 bits
 - Taxa de amostragem: 44,1 kHz
 - **Qualidade de CD!**



Real-Time Protocol (RTP) - Receptor

RTP Tools é composto por algumas aplicações, entre elas o `rtpdump`, que permite receber pacotes via RTP.

O conteúdo (*payload*) dos pacotes é, justamente, os pacotes de áudio PCM (não comprimidos), que pode ser encaminhado ao codec de áudio via periférico I2S e, então, o sinal analógico pode ser reproduzido em uma caixa de som.

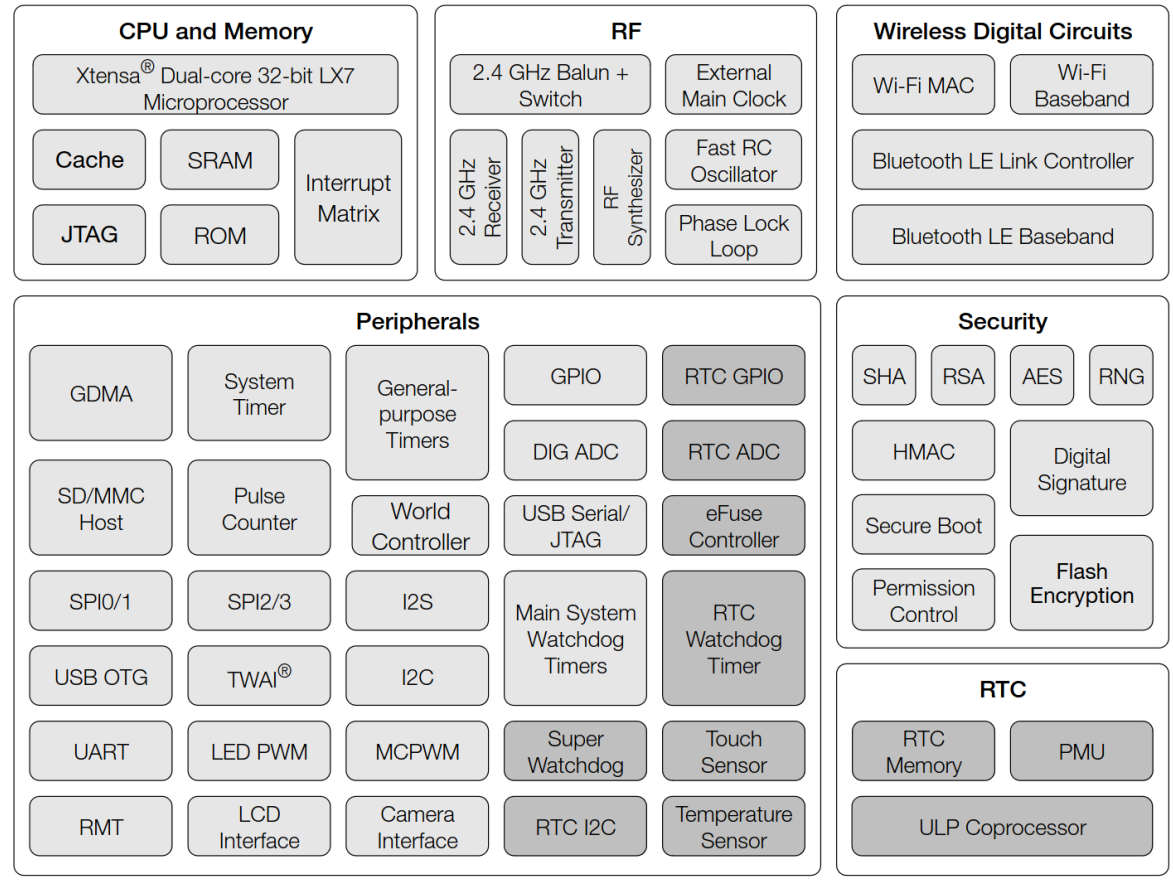
```
nsh> rtpdump -h
usage: rtpdump [-F hex|ascii|rtcp|short|payload|dump|header] [-f infile] [-o outfile] [-t minutes] [-x bytes] [address]/port > file
```



Mão na Massa! 🧑‍🔧

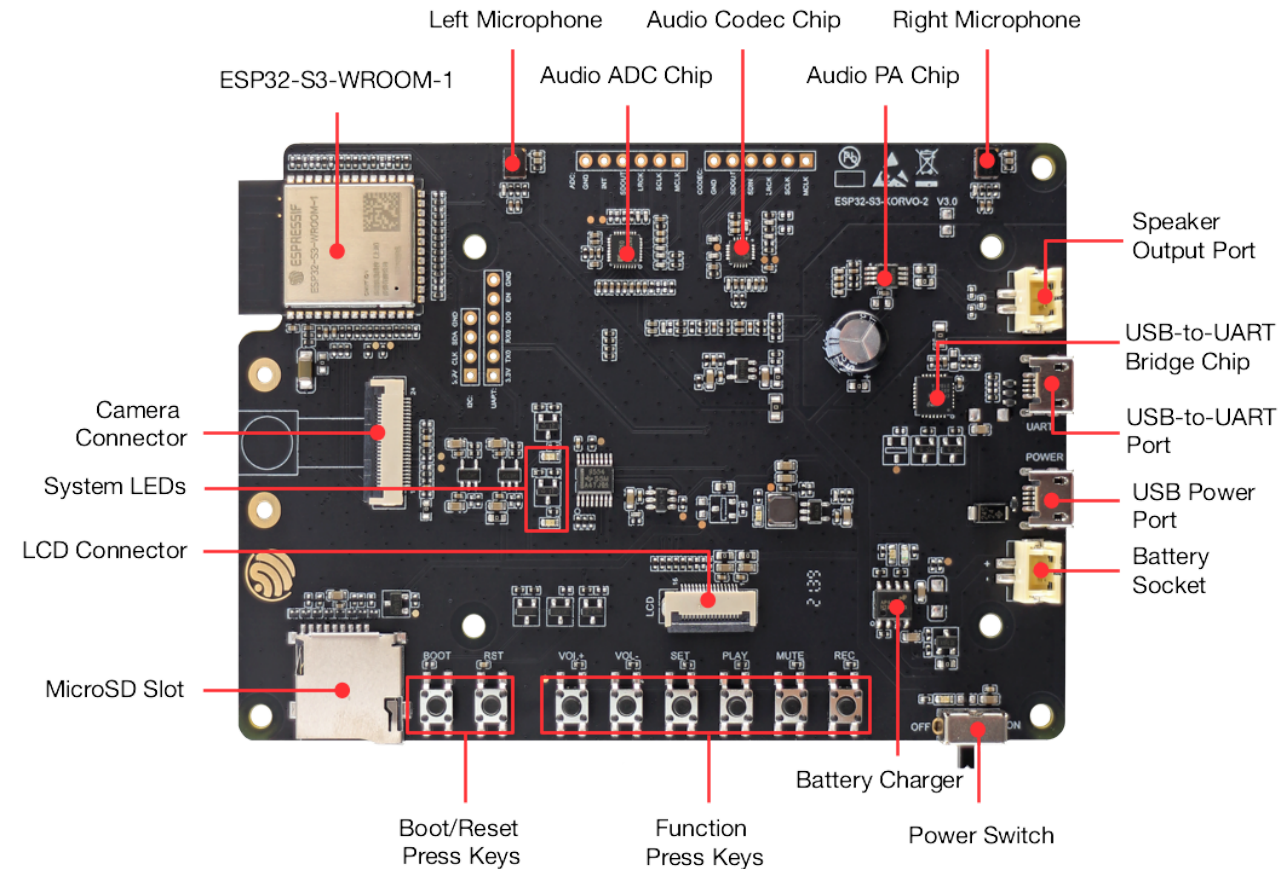


Espressif ESP32-S3 Wi-Fi + Bluetooth® Low Energy SoC



Espressif ESP32-S3

- Wi-Fi (2.4 GHz)
- Bluetooth Low Energy
- Dual high performance Xtensa® 32-bit LX7 CPU cores
- Ultra Low Power co-processor
- Múltiplos Periféricos
- Interface USB OTG
- Controlador USB Serial/JTAG



Espressif ESP32-S3-Korvo-2

- Codec de Áudio ES8311
 - Interface de controle: I2C
 - Interface de dados: I2S
- Amplificador de Áudio integrado
- Array de Microfones e ADC dedicado
- Cartão SD



ESP32-S3 e o NuttX

Documentação do ESP32-S3 no NuttX:

```
<iframe src="https://nuttx.apache.org/docs/latest/platforms/xtensa/esp32s3/index.html"
height="600px" width="100%" frameborder="0"></iframe>
```



Real-Time Protocol (RTP) - Receptor

Criando um arquivo *FIFO* para receber os pacotes RTP:

```
nsh> mkfifo temp
```

Executando o `rtpdump` (em background) para receber os pacotes na porta `46998` e salvar no arquivo `temp`:

```
nsh> rtpdump -F payload -o temp /46998 &  
rtpdump [15:100]
```




Real-Time Protocol (RTP) - Receptor

Neste momento, os pacotes de áudio PCM (recebidos via RTP) estão sendo escritos no arquivo *FIFO* temp .

Reproduzindo a partir da leitura do arquivo:

```
nsh> nxplayer
NxPlayer version 1.05
h for commands, q to exit

nxplayer> playraw temp 2 16 44100
```



Real-Time Protocol (RTP) - Receptor

O comando `playraw` do *NxPlayer* encaminha os dados do arquivo diretamente para o codec de áudio.



Dúvidas, Perguntas e Sugestões

Obrigado!

Tiago Medicci

 - <https://github.com/tmedicci>

 - <https://www.linkedin.com/in/tmedicci/>

Filipe Cavalcanti

 - <https://github.com/fdcavalcanti>

 - <https://www.linkedin.com/in/fdcavalcanti>



Referências Gerais

- Página Oficial do NuttX: <https://nuttx.apache.org/>
- Documentação Oficial do NuttX: <https://nuttx.apache.org/docs/latest/>
- Kernel do NuttX no GitHub: <https://github.com/apache/nuttx>
- Aplicações do NuttX no GitHub: <https://github.com/apache/nuttx-apps>