

# Anàlisi de la interconnexió de dispositius lògics programables mitjançant Ethernet

Marko Peshevski

TFM, MUESAEI

Q1 2016 – 2017

# Taula de continguts

## Introducció

Objectius

## FPGA

Estructura

Nuclis de propietat

intel·lectual

## Ethernet

Model de funcionament

Protocols

## Implementació pràctica

LwIP

Sense LwIP

## Resultats experimentals

Mètode d'estudi

Cablejats diferents

Sumes de verificació

Memòria d'execució

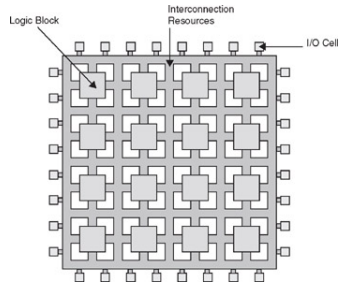
## Conclusions

# Objectius

- Conèixer Ethernet en profunditat
- Conèixer en profunditat alguns protocols de xarxes
- Desenvolupar un sistema incrustat amb Ethernet sobre una FPGA
- Intentar desenvolupar una pila de protocol bàsica

# Estructura

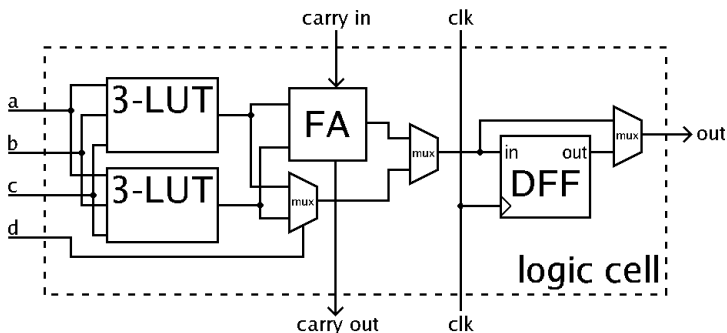
- Matriu de blocs lògics, interconnectats
- Recursos d'interconnexió
- Blocs d'entrada/sortida



# Estructura

## Blocs lògics

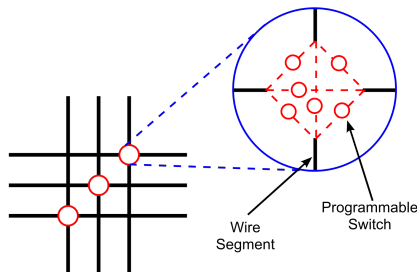
- Taules d'entrada (Look Up Table)
- Lògica operativa per càlculs
- Multiplexors
- Biestables síncrons



# Estructura

## Recursos d'interconnexió

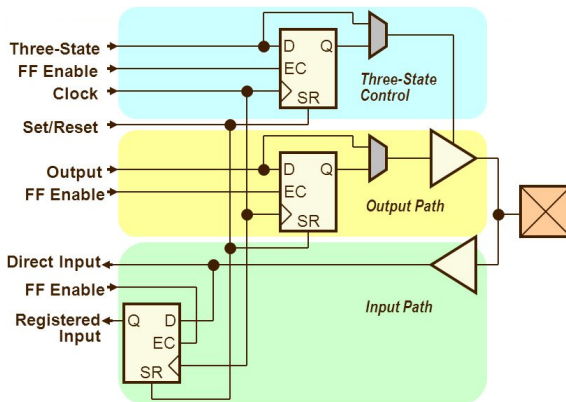
- Permeten encaminar les connexions entre blocs lògics i blocs d'entrada/sortida
- Es tria l'estat dels interruptors al programar la FPGA



# Estructura

## Blocs d'entrada/sortida

- Biestables síncrons
- Control tri-estat: entrada, sortida o alta impedància
- Connexió amb el món exterior



## Nuclis de propietat intel·lectual

- Implementacions en llenguatge de descripció de hardware (principalment VHDL o Verilog)
- Generalment anomenats soft-cores
- Existeixen els hard-cores, incrustats sobre el silici de la FPGA
- Exemples variats: perifèric SPI, microcontrolador sencer (MicroBlaze de Xilinx), convertidor digital-analògic, ...



# Nuclis de propietat intel·lectual

## Disseny de hardware

- Cada fabricant ofereix les seves eines per generar hardware
- En el cas de Xilinx, la eina és el Xilinx Platform Studio

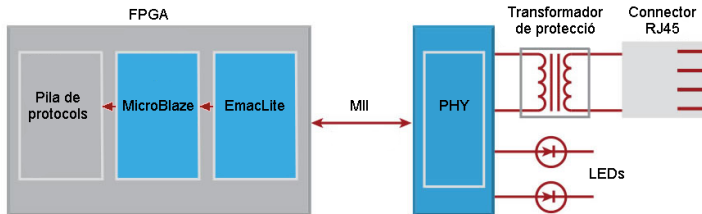


- Un cop creat el hardware, si hi ha un microcontrolador o microprocessador s'ha de programar



## Funcionament a la placa

- En general, tots els dispositius que implementen Ethernet funcionen de forma similar

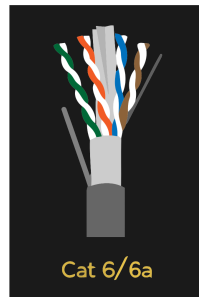
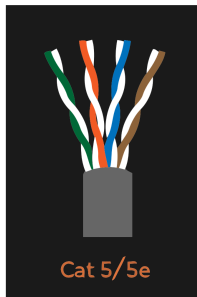
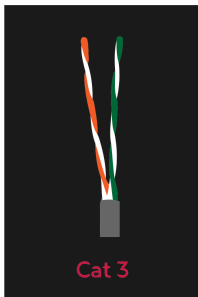


# Ethernet

## Cablejat

- Parells diferencials trenats. Generalment al menys un de recepció ( $RX_{\pm}$ ) i un de transmissió ( $TX_{\pm}$ )
- Dependent de la velocitat de transmissió requerida, es necessita cablejat diferent

## Category Cable Wiring





# Protocols

## Ethernet

- Aquest és un protocol senzill, on s'han d'enviar poques dades a més de les que es volen transportar (26 bytes + dades)
- El preàmbul no és informació útil com a tal, serveix per sincronitzar

Trama Ethernet

Preàmbul 8 bytes	MAC destí 6 bytes	MAC origen 6 bytes	Tipus de dades 2 bytes	Dades 46-1500 bytes	Seqüència de control de trama (FCS) 4 bytes
---------------------	----------------------	-----------------------	------------------------------	---------------------------	--

# Protocols

## IPv4

- Internet Protocol version 4
- Protocol bàsic per dirigir-se als equips d'una xarxa, sigui local o global
- Imprescindible a la xarxa de xarxes
- Relativament complicat perquè ha de contemplar gran varietat de casos (fragmentació, diferents subprotocols, . . .)

# Protocols

## IPv4

Versió 4 bits	Llargària de la capçalera 4 bits	Serveis Diferenciats 6 bits	N C E 2 bits	Llargària total del paquet 16 bits	
Identificació 16 bits				Flags 3 bits	Número de fragment 13 bits
Temps de vida 8 bits		Protocol 8 bits		Suma de verificació de la capçalera 16 bits	
Adreça IP d'origen 32 bits					
Adreça IP de destí 32 bits					
Dades					



# Protocols

## ARP

- Address Resolution Protocol
- Protocol bàsic per identificar els equips dins d'una xarxa local
- Complement ideal entre IPv4 i Ethernet per xarxes locals

# Protocols

## ARP

Tipus de medi 16 bits	
Identificació 16 bits	
Llargària adreça física 8 bits	Llargària adreça lògica 8 bits
Operació que es realitza 16 bits	
Adreça física d'origen 48 bits (6 bytes)	
Adreça lògica d'origen 32 bits (4 bytes)	
Adreça física de destí 48 bits (6 bytes)	
Adreça lògica de destí 32 bits (4 bytes)	

# Protocols

## ICMP

- Internet Control Message Protocol
- Protocol que serveix per regular el tràfic, generalment, a la xarxa de xarxes
- Serveix per notificar de pèrdua de paquets, comprovar l'estat de la xarxa
- Es pot utilitzar en xarxes locals per provar la capacitat de la xarxa

# Protocols

## ICMP

Tipus 8 bits	Codi 8 bits	Suma de verificació del paquet 16 bits
Identificador 16 bits		Número de seqüència 16 bits
Dades		

# Implementació pràctica

## LwIP

- LwIP és una de les implementacions de TCP/IP més utilitzades
- Pila específicament dissenyada per aplicacions incrustades
- Microcontroladors amb poca memòria de codi (ocupa al voltant de 40 kilobytes per si sola)
- No necessita de molta memòria RAM, sempre en funció de les demandes de la xarxa i l'aplicació
- Pila de protocols molt capaç, suporta la majoria de protocols utilitzats a Internet

# Implementació pràctica

## LwIP

```
int main(void) {
    /* neteja la consola UART i imprimeix missatge */
    xil_printf("%c[2J",27);
    xil_printf("—— TFM — Marko Peshevski — versio LwIP ——\r\n");
    inicialitza_temporitzador();
    inicialitza_interrupcions();
    inicialitza_lwip();
    xil_printf("Arrenca aplicacio que respon a eco... ");
    arrenca_app();
    xil_printf("Aplicacio en marxa\r\n");
    /* activa les interrupcions a nivell de processador */
    Xil_ExceptionEnable();
    while (1) {
        /* rep dades de la interfície de xarxa (driver ethernet MAC) */
        xemacif_input(&interficie_xarxa);
        /* consulta temporitzadors i executa tasques periodiques */
        if (temporitzador_tcp_rapid) {
            tcp_fasttmr();
            temporitzador_tcp_rapid = 0;
        }
        if (temporitzador_tcp_lent) {
            tcp_slowtmr();
            temporitzador_tcp_lent = 0;
        }
    }
    return 0;
}
```

# Implementació pràctica

## Sense LwIP

- Implementació feta per l'autor
- Pila de protocols molt reduïda: ARP, i ICMP sobre IPv4 (sense fragmentació)
- Intent d'optimitzar el màxim possible tant la memòria ocupada pel codi com la velocitat d'execució
- Bàsicament capaç de respondre a peticions d'eco i poc més

# Implementació pràctica

## Sense LwIP

```

int main(void) {
    /* neteja la consola UART i imprimeix missatge */
    xil_printf("%c[2J",27);
    xil_printf("———— TFM — Marko Peshevski — versio NO-LwIP —————\r\n");
    inicialitza_interrupcions();
    inicialitza_emaclite();
    /* activa les interrupcions a nivell de processador */
    Xil_ExceptionEnable();
    while (1) {
        if (sys.paquet_rebut) {
            sys.paquet_rebut = FALSE; /* neteja el flag */
            /* inverteix les direccions MAC, respon d'on ha vingut el paquet */
            memcpy(trama_ethernet->mac_desti, trama_ethernet->mac_origen, LLARGARIA_MAC);
            memcpy(trama_ethernet->mac_origen, direccio_mac, LLARGARIA_MAC);
            /* mira si el paquet es ARP. necessita girar els bytes */
            if (INVERTEIX_BYTES_16(trama_ethernet->ethertype) == ARP) {
                /* codi a la següent diapositiva */
            }
            /* mira si es un paquet IPv4. necessita girar els bytes */
            else if (INVERTEIX_BYTES_16(trama_ethernet->ethertype) == IPv4) {
                /* codi a la següent diapositiva */
            }
        }
        if (sys.paquet_enviat){
            sys.paquet_enviat = FALSE; /* neteja el flag */
        }
    }
    return 0;
}

```



# Implementació pràctica

## Sense LwIP

```

/* simplement es un cast que interpreta les dades de memoria per facilitar */
paquet_arp_t * paquet_arp = (paquet_arp_t *) &trama_ethernet->dades;
/* mira si el paquet anava dirigit per la nostra IP */
if(paquet_arp->ip_desti == direccio_ip) {
    if(paquet_arp->operacio == ARP_REQUEST_LINUX) {
        paquet_arp->operacio = ARP_REPLY_LINUX;
    }
    else if(paquet_arp->operacio == ARP_REQUEST_WINDOWS) {
        paquet_arp->operacio = ARP_REPLY_WINDOWS;
    }
    /* inverteix adreces IP i MAC del paquet */
    paquet_arp->ip_desti = paquet_arp->ip_origen;
    paquet_arp->ip_origen = direccio_ip;
    memcpy(paquet_arp->mac_desti, paquet_arp->mac_origen, LLARGARIA_MAC);
    memcpy(paquet_arp->mac_origen, direccio_mac, LLARGARIA_MAC);
    /* envia la resposta */
    XEmaLite_Send(&emac_lite, buffer, sys.llargaria_paquet_rebut - LLARGARIA_FCS);
}

```

# Implementació pràctica

## Sense LwIP

```

/* simplement es un cast que interpreta les dades de memoria per facilitar */
paquet_ip_t * paquet_ip = (paquet_ip_t *) &trama_ethernet->dades;
/* mira si es un paquet de tipus ICMP */
if(paquet_ip->protocol == ICMP) {
    /* simplement es un cast que interpreta les dades de memoria per facilitar */
    paquet_icmp_t * paquet_icmp = (paquet_icmp_t *) &paquet_ip->dades;
    /* mira si es una peticio d'eco */
    if(paquet_icmp->tipus_de_missatge == ECHO_REQUEST) {
        /* canvia la suma de verificacio */
        paquet_icmp->suma_verificacio += ECHO_REQUEST; /* -ECHO_REPLY */
        /* modifica el tipus de missatge */
        paquet_icmp->tipus_de_missatge = ECHO_REPLY;
        /* inverteix les adreces del paquet IPv4 */
        paquet_ip->ip_desti = paquet_ip->ip_origen;
        paquet_ip->ip_origen = direccio_ip;
        /* envia la resposta */
        XEmaclite_Send(&emaclite, buffer, sys.llargaria_paquet_rebut - LLARGARIA_FCS);
    }
}

```

# Resultats experimentals

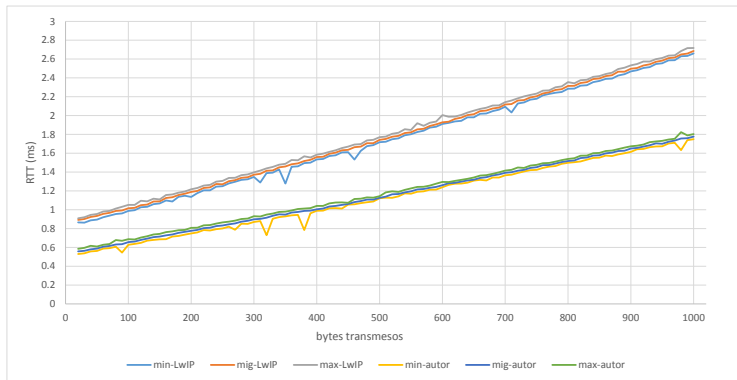
## Mètode d'estudi

- S'executen gran nombre de peticions d'eco
- Llargària de les dades del paquet ICMP variable
- Automatitzat amb script de bash sobre Linux

```
#!/bin/bash
for i in `seq 20 10 1000`;
do
  echo $i
  sudo ping 192.168.1.200 -c 100 -s $i -q -i 0.01 -w 0.01 >> "arxiu.txt"
  sleep 0.5
done
```

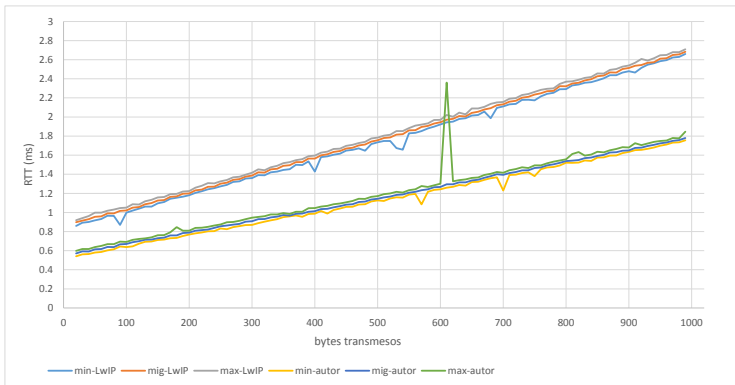
# Resultats experimentals

## Implementacions sobre cablejats diferents - Cat3



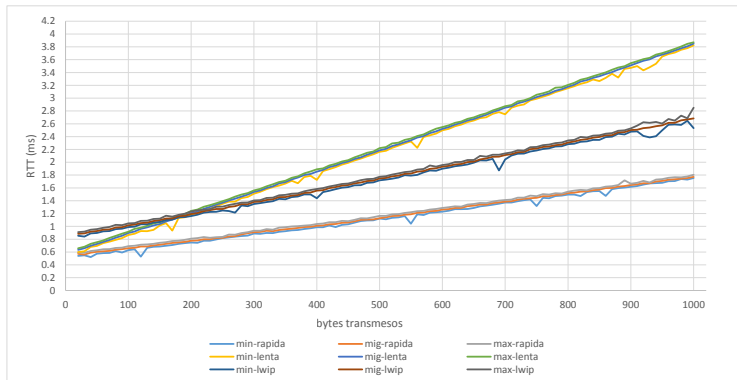
# Resultats experimentals

## Implementacions sobre cablejats diferents - Cat6



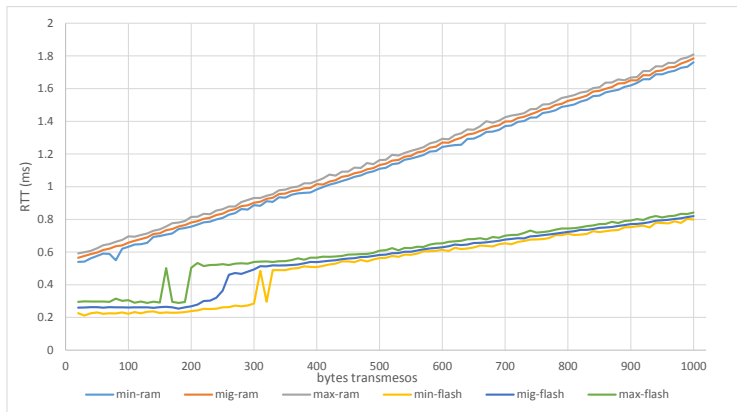
# Resultats experimentals

## Sumes de verificació



# Resultats experimentals

## Memòria d'execució



# Conclusions

- Ethernet → un protocol senzill a nivell de dades lògiques
- Protocols d'Internet → complexos, per contemplar gran varietat de casos
- Protocols encapsulats dins de protocols → òptim?
- Pila de protocols estandarditzada (LwIP) vs. pila feta a mida
- La memòria d'on s'executa el codi realment fa diferència en un sistema tan senzill



## Més informació

- Més informació i codi font a:  
<https://github.com/markopesevski/TFM>

# Gràcies per la vostra atenció

Dubtes? Comentaris? Preguntes?