

# Implementación HW/SW de Arquitecturas de Clasificación de Paquetes Sobre Lógica Reconfigurable.

Jairo Trad y Luis R. Romano

Laboratorio de Comunicaciones Digitales  
Universidad Nacional de Córdoba, Facultad Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

January 6, 2012

# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Módulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Líneas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos únicamente
- Caso loopback
- Implementación completa
- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Agenda

1

## Motivación

### Requerimientos

- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Requerimientos de procesamiento en Redes

## Características de Tráfico

- Las redes de datos crecen en **Complejidad**: nuevas aplicaciones, multimedia
- Las redes de datos crecen en **Velocidad**:  $n \times 100Gbps$  (1Tbps@2015)
- **Consolidación** de múltiples servicios sobre redes Ethernet
- Redes *Locales*, *Metropolitanas* y *Extensas* utilizan **Conmutación de Paquetes**
- Adopción de tecnologías para *virtualización* en redes y servidores

## Procesamiento de Paquetes

- Los *enlaces* ofrecen alta capacidad. El *procesamiento* de paquetes es **crítico** y debe optimizarse
- El procesamiento *a velocidad de línea*
- Paquete Ethernet mínimo = 64bytes  $\rightarrow$  6nanosegundos/paquete

# Requerimientos de procesamiento en Redes

## Características de Tráfico

- Las redes de datos crecen en **Complejidad**: nuevas aplicaciones, multimedia
- Las redes de datos crecen en **Velocidad**:  $n \times 100Gbps$  (1Tbps@2015)
- **Consolidación** de múltiples servicios sobre redes Ethernet
- Redes *Locales*, *Metropolitanas* y *Extensas* utilizan **Conmutación de Paquetes**
- Adopción de tecnologías para *virtualización* en redes y servidores

## Procesamiento de Paquetes

- Los *enlaces* ofrecen alta capacidad. El *procesamiento* de paquetes es **crítico** y debe optimizarse
- El procesamiento *a velocidad de línea*
- Paquete Ethernet mínimo = 64bytes  $\rightarrow$  6nanosegundos/paquete

# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos

## Soluciones

- Problema marco

- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta

- Descripción funcional de cada bloque

- Formato de la cabecera IP

- Algoritmos de Clasificación

- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura

- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II

- Herramientas / Recursos Utilizados

- Verificación

5

## Resultados

- Introducción

- Caso algoritmos unicamente

- Caso loopback

- Implementacion completa

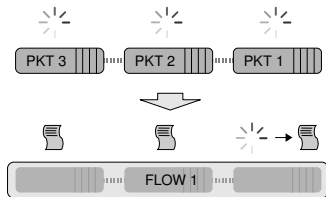
- Comparativa inter-algoritmos

6

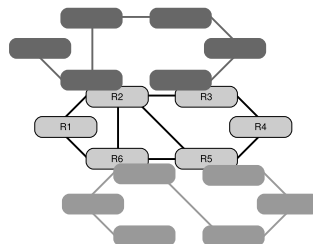
## Conclusiones

## Granularidad

- **Actualmente** → **paquetes** de longitud **variable**
- Peor caso → mínima longitud (64 bytes en Ethernet)
- **Tendencia** → agregación de paquetes en **flujos**
- Ejemplos: Multi-protocol Label Switching (MPLS), VLANs (802.1Q)



## Agregacion de flujos



## Virtualizacion de redes

# Tecnologías Actuales

Requerimientos → **flexibilidad, performance**

## Circuitos de Propósito Específico (ASICs)

- Cientos de bloques especializados trabajando en paralelo
- Alto desempeño. No programables, alto costo y tiempo de desarrollo.

## Procesadores de Red (NPs)

- Múltiples elementos de procesamiento, buena performance para ciertas tareas. IXP(Intel), PowerNP (IBM)
- Difícil portabilidad, interfaces propietarias

## Procesadores de Propósito General (GPPs)

- Arquitectura PC + Software especializado: *Click, Zebra/Xorp/Quagga*
- Alta flexibilidad, bajo costo. Limitación por transacciones con RAM y naturaleza secuencial



# Tecnologías Actuales

Requerimientos → **flexibilidad, performance**

## Circuitos de Propósito Específico (ASICs)

- Cientos de bloques especializados trabajando en paralelo
- Alto desempeño. No programables, alto costo y tiempo de desarrollo.

## Procesadores de Red (NPs)

- Múltiples elementos de procesamiento, buena performance para ciertas tareas. IXP(Intel), PowerNP (IBM)
- Difícil portabilidad, interfaces propietarias

## Procesadores de Propósito General (GPPs)

- Arquitectura PC + Software especializado: *Click, Zebra/Xorp/Quagga*
- Alta flexibilidad, bajo costo. Limitación por transacciones con RAM y naturaleza secuencial

# Tecnologías Actuales

Requerimientos → **flexibilidad, performance**

## Circuitos de Propósito Específico (ASICs)

- Cientos de bloques especializados trabajando en paralelo
- Alto desempeño. No programables, alto costo y tiempo de desarrollo.

## Procesadores de Red (NPs)

- Múltiples elementos de procesamiento, buena performance para ciertas tareas. IXP(Intel), PowerNP (IBM)
- Difícil portabilidad, interfaces propietarias

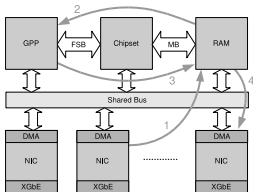
## Procesadores de Propósito General (GPPs)

- Arquitectura PC + Software especializado: *Click, Zebra/Xorp/Quagga*
- Alta flexibilidad, bajo costo. Limitación por transacciones con RAM y naturaleza secuencial

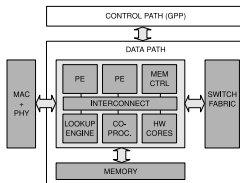
## Nuevas tecnologías

## Dispositivos Lógicos Programables (FPGAs)

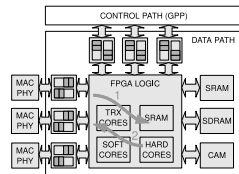
- Permiten *reconfiguración* y *reprogramación*, contando con librerías de *Open Hardware*.
- Su performance no es lejana a la de un ASIC. Fabricantes: Altera, Xilinx, Actel.
- Incorporación creciente de bloques *hardcore* especializados



## Implementación con GPPs



## Implementación con NPs



## Implementación con FPGAs

# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos

- Soluciones

- **Problema marco**

- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta

- Descripción funcional de cada bloque

- Formato de la cabecera IP

- Algoritmos de Clasificación

- Módulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura

- Diagrama en bloques: Líneas E/S

4

## Implementación

- NIOS II

- Herramientas / Recursos Utilizados

- Verificación

5

## Resultados

- Introducción

- Caso algoritmos únicamente

- Caso loopback

- Implementación completa

- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Clasificación de Paquetes

## Clasificación

- La necesidad de procesar cada vez más paquetes de datos lleva a lo que se conoce como *clasificación*.
- Es el proceso de categorización de paquetes en distintos flujos.
- Efectuada en base a un número de campos de una cabecera.
- En general, para una clasificación basada en N campos, se dice que la misma es N-dimensional (o multidimensional)
- Un caso en particular de la clasificación unidimensional (N=1) utilizando el campo IP destino es lo que se conoce como *IP Lookup*.

# IP LookUp

## IP Lookup

- Se lleva a cabo en el dispositivo de enrutamiento.
- Un paquete llega por una interfaz de entrada. Éste porta una dirección IP determinada.
- El dispositivo consulta una tabla de forwardeo para determinar la interfaz de salida para el paquete en cuestión
- Dicha tabla contiene un conjunto de prefijos con sus correspondientes interfaces de salida.
- El paquete es correspondido con el prefijo más largo que esté contenido en la dirección de destino y luego es redirigido a la correspondiente interfaz de salida.

# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- **Objetivos**

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Objetivos

## Generales

- Estudiar las diversas arquitecturas de clasificacion de paquetes para poder encontrar las limitaciones en la implementacion de las mismas tanto en software como en hardware.
- Ganar conocimiento acerca las diversas posibilidades que ofrecen las FPGA para la implementacion de este tipo de algoritmos y las opciones con las que se cuenta a la hora de implementar un sistema embebido en este tipo de dispositivos.

## Específicos

- Implementar un sistema embebido que realice la clasificación unidimensional de paquetes mediante una arquitectura mixta, Hardware-Software, en lógica reprogramable y que permita contratastar algunos de los algoritmos de clasificacion existentes.
- Implementar como mínimo dos algoritmos de clasificación.
- Mejorar las algoritmos anteriormente mencionados, poniendo el foco en optimizar el código.



# Objetivos

## Generales

- Estudiar las diversas arquitecturas de clasificación de paquetes para poder encontrar las limitaciones en la implementación de las mismas tanto en software como en hardware.
- Ganar conocimiento acerca las diversas posibilidades que ofrecen las FPGA para la implementación de este tipo de algoritmos y las opciones con las que se cuenta a la hora de implementar un sistema embebido en este tipo de dispositivos.

## Específicos

- Implementar un sistema embebido que realice la clasificación unidimensional de paquetes mediante una arquitectura mixta, Hardware-Software, en lógica reprogramable y que permita contrastar algunos de los algoritmos de clasificación existentes.
- Implementar como mínimo dos algoritmos de clasificación.
- Mejorar los algoritmos anteriormente mencionados, poniendo el foco en optimizar el código.

# Agenda

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

### Solución Propuesta

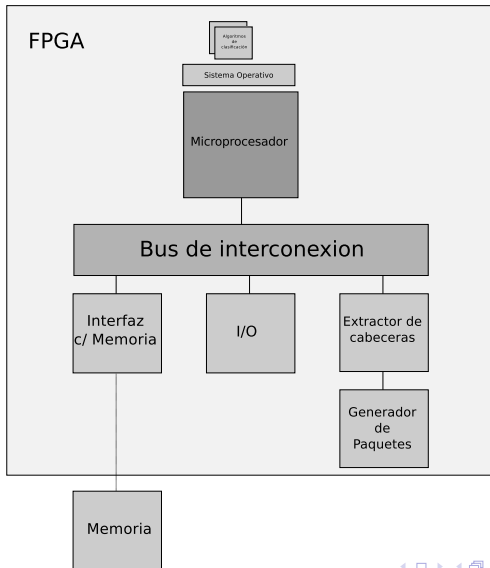
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Módulo extractor de cabeceras

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Líneas E/S

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

# Solución



# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- **Descripción funcional de cada bloque**
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Descripción funcional

## Microprocesador

- Recibe una cabecera y la procesa mediante la ejecución de un software de clasificación de paquetes.

## Bus de interconexión

- Interconecta los componentes del sistema.

## Memoria

- Almacena el software de clasificación de paquetes.

## Modulo extractor de cabeceras

- Extrae una cabecera a partir de cada paquete recibido.
- La envía al software de clasificación
- Recibe la información generada por dicho software





# Descripcion funcional

## Microprocesador

- Recibe una cabecera y la procesa mediante la ejecución de un software de clasificación de paquetes.

## Bus de interconexión

- Interconecta los componentes del sistema.

## Memoria

- Almacena el software de clasificación de paquetes.

## Modulo extractor de cabeceras

- Extrae una cabecera a partir de cada paquete recibido.
- La envía al software de clasificación
- Recibe la información generada por dicho software



# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- **Formato de la cabecera IP**
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

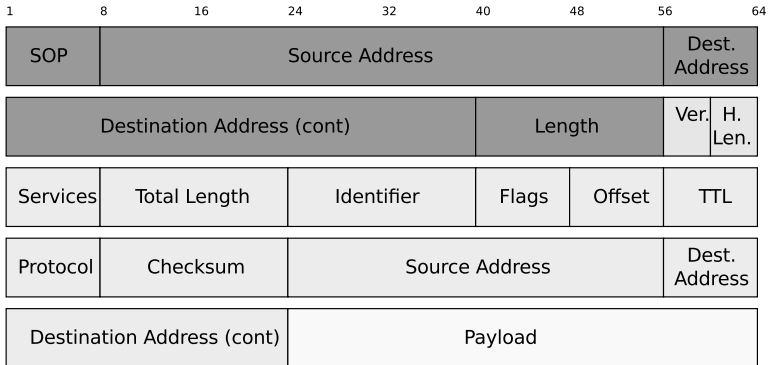
## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos


6

## Conclusiones

# Formato de la cabecera



 Campos de encabezado Ethernet

 Campos de encabezado IP

# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- **Algoritmos de Clasificación**
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Algoritmos de Clasificación

## Linear Lookup (LLU)

- Prefijos almacenados en una lista enlazada
- Se toma como entrada una determinada dirección de destino y se va comparando nodo a nodo.
- Prefijos ordenados por longitud
- La primer coincidencia es la mejor

## Unibit trie lookup (UTL)

- Prefijos almacenados en un arbol
- Cada nodo representa un bit del prefijo
- Se toma como entrada una dirección de destino y se va recorriendo el arbol en base a los bits

# Algoritmos de Clasificación

## Linear Lookup (LLU)

- Prefijos almacenados en una lista enlazada
- Se toma como entrada una determinada dirección de destino y se va comparando nodo a nodo.
- Prefijos ordenados por longitud
- La primer coincidencia es la mejor

## Unibit trie lookup (UTL)

- Prefijos almacenados en un arbol
- Cada nodo representa un bit del prefijo
- Se toma como entrada una dirección de destino y se va recorriendo el arbol en base a los bits

# Agenda

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

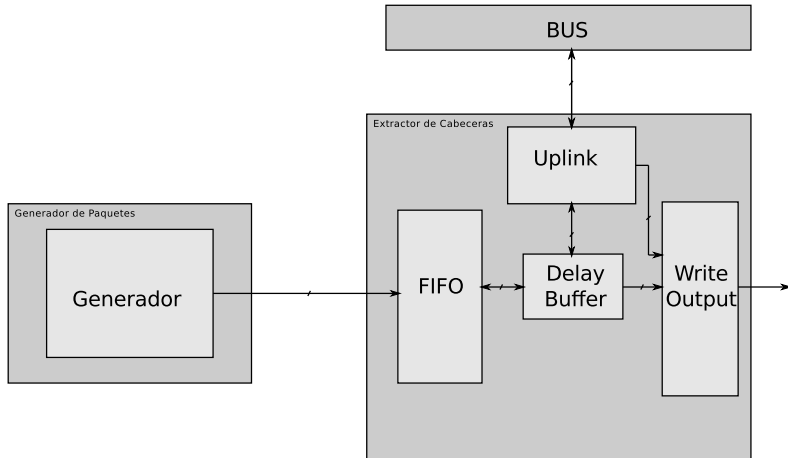
- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- **Módulo extractor de cabeceras**

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Líneas E/S

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

# Modulo extractor de cabeceras



# Descripción funcional

## Generador de paquetes

- Genera paquetes de red Ethernet
- Propósito: Simular tráfico proveniente del exterior

## FIFO

- Recibe los paquetes generados por el módulo anterior

## Delay Buffer

- Va tomando los datos desde la FIFO
- Detecta inicio y finalización de cada paquete
- Envía la cabecera hacia el módulo Uplink
- Mantiene almacenado el paquete mientras el software toma una decisión



# Descripción funcional

## Generador de paquetes

- Genera paquetes de red Ethernet
- Propósito: Simular tráfico proveniente del exterior

## FIFO

- Recibe los paquetes generados por el módulo anterior

## Delay Buffer

- Va tomando los datos desde la FIFO
- Detecta inicio y finalización de cada paquete
- Envía la cabecera hacia el módulo Uplink
- Mantiene almacenado el paquete mientras el software toma una decisión

# Descripción funcional

## Generador de paquetes

- Genera paquetes de red Ethernet
- Propósito: Simular tráfico proveniente del exterior

## FIFO

- Recibe los paquetes generados por el módulo anterior

## Delay Buffer

- Va tomando los datos desde la FIFO
- Detecta inicio y finalización de cada paquete
- Envía la cabecera hacia el módulo Uplink
- Mantiene almacenado el paquete mientras el software toma una decisión

# Descripción funcional (cont)

## Uplink

- Encargado de realizar la comunicación entre el flujo de datos que proviene de la red y el procesador
- Genera interrupciones al procesador cuando los datos están disponibles
- Cuando el procesador responde con el resultado de la clasificación, el mismo es almacenado y enviado al módulo Write Output

## Write Output

- Toma la salida de Delay Buffer
- Escribe el resultado que le envía Uplink en la etiqueta que se encuentra anexa en cada una de las palabras del paquete

# Descripción funcional (cont)

## Uplink

- Encargado de realizar la comunicación entre el flujo de datos que proviene de la red y el procesador
- Genera interrupciones al procesador cuando los datos están disponibles
- Cuando el procesador responde con el resultado de la clasificación, el mismo es almacenado y enviado al módulo Write Output

## Write Output

- Toma la salida de Delay Buffer
- Escribe el resultado que le envía Uplink en la etiqueta que se encuentra anexa en cada una de las palabras del paquete

# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- **Arquitectura**
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Arquitectura

## Avalon

- Es una familia de interfaces provista por Altera
- Diferentes tipos, en base a las necesidades (ST, MM, Clock, Interrupt, Conduit, Reset)

## En este diseño

- Avalon MM → Los dispositivos están mapeados en memoria
- Avalon Clock Interface → Provee señal de clock al sistema
- Avalon Interrupt Interface → Permite que el módulo extractor de cabeceras interrumpa al procesador
- Avalon Conduit Interface → Permite visualizar resultados fuera de la FPGA

# Arquitectura

## Avalon

- Es una familia de interfaces provista por Altera
- Diferentes tipos, en base a las necesidades (ST, MM, Clock, Interrupt, Conduit, Reset)

## En este diseño

- Avalon MM → Los dispositivos están mapeados en memoria
- Avalon Clock Interface → Provee señal de clock al sistema
- Avalon Interrupt Interface → Permite que el módulo extractor de cabeceras interrumpa al procesador
- Avalon Conduit Interface → Permite visualizar resultados fuera de la FPGA

# Señales utilizadas

## Avalon MM

- address: Direcciona los datos enviados a o recibidos desde el procesador.
- chipselect: Se usa en combinacion con read o write.
- read: Indica una transferencia de lectura.
- readdata: Bus por el cual se transfieren los datos desde el periférico hacia el procesador.
- write: Indica una transferencia de escritura.
- writedata: Bus por el cual se transfieren los datos desde el procesador hacia el periférico.

## Avalon Clock Interface

- clk: Provee clock para la sincronización de señales.



# Señales utilizadas

## Avalon MM

- address: Direcciona los datos enviados a o recibidos desde el procesador.
- chipselect: Se usa en combinacion con read o write.
- read: Indica una transferencia de lectura.
- readdata: Bus por el cual se transfieren los datos desde el periférico hacia el procesador.
- write: Indica una transferencia de escritura.
- writedata: Bus por el cual se transfieren los datos desde el procesador hacia el periférico.

## Avalon Clock Interface

- clk: Provee clock para la sincronización de señales.

# Señales utilizadas (cont)

## Avalon Interrupt Interface

- irq: Permite al modulo enviar una señal de interrupción al procesador cuando hay una cabecera lista para ser procesada.

## Avalon Conduit Interface

- export: Permite exportar señales "fuera" de la FPGA. En este caso, se la utiliza para visualizar ciertos resultados de la clasificación por medio del panel de LEDs de la placa de desarrollo.

# Señales utilizadas (cont)

## Avalon Interrupt Interface

- irq: Permite al modulo enviar una señal de interrupción al procesador cuando hay una cabecera lista para ser procesada.

## Avalon Conduit Interface

- export: Permite exportar señales "fuera" de la FPGA. En este caso, se la utiliza para visualizar ciertos resultados de la clasificación por medio del panel de LEDs de la placa de desarrollo.

# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

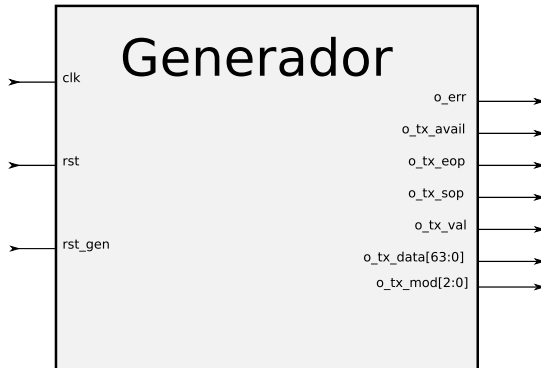
## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

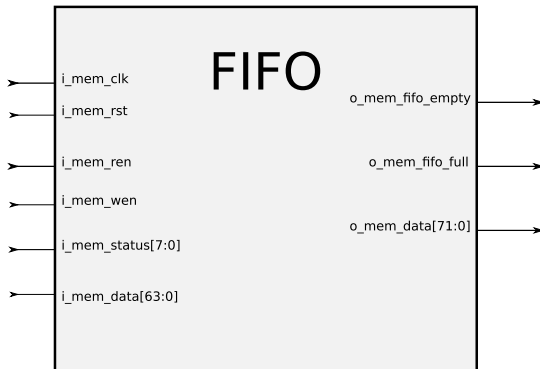
6

## Conclusiones

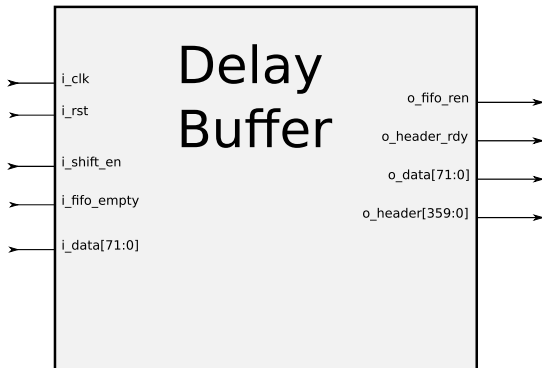
# Generador



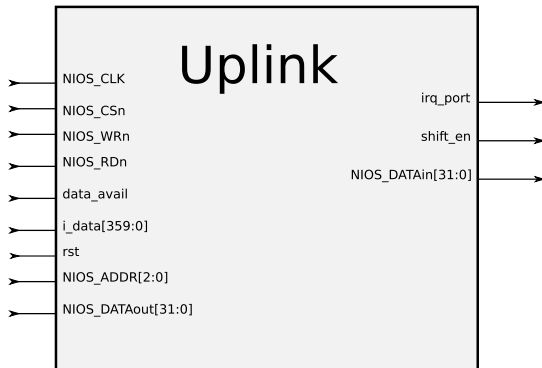
# FIFO



# Delay Buffer

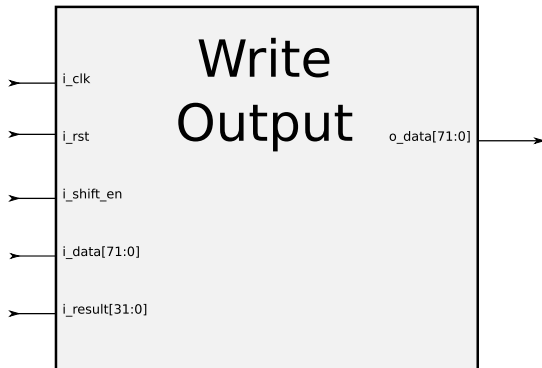


# Uplink





# Write Output



# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- **NIOS II**
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Microprocesador NIOS II

NIOS II



# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- **Herramientas / Recursos Utilizados**
- Verificación

5

## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Herramientas / Recursos Utilizados

## Quartus

- IDE de Altera
- Incluye editor de textos y herramientas para síntesis
- Lenguaje HDL utilizado: Verilog HDL

## Eclipse IDE for NIOS

- Version de la IDE Eclipse adaptada para trabajar con el microprocesador NIOS II
- Lenguajes utilizados: C,C++

# Herramientas / Recursos Utilizados

## Quartus

- IDE de Altera
- Incluye editor de textos y herramientas para síntesis
- Lenguaje HDL utilizado: Verilog HDL

## Eclipse IDE for NIOS

- Version de la IDE Eclipse adaptada para trabajar con el microprocesador NIOS II
- Lenguajes utilizados: C,C++

# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- **Verificación**

5

## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Verificación

## Etapas

- 1º Paso: Módulo más simple (simpleRW)
- 2º Paso: Implementación del modulo extractor. Debugging de señales.
- 3º Paso: Integración extractor-software. LLU y UTL.



# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

## Resultados

- **Introducción**
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Introducción

## Presentación de los resultados



# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

## Resultados

- Introducción
- **Caso algoritmos unicamente**
- Caso loopback
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Caso algoritmos unicamente

.. Grafico correspondiente ...

# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- **Caso loopback**
- Implementacion completa
- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Caso loopback

.. Grafico correspondiente ...

# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- **Implementacion completa**
- Comparativa inter-algoritmos

6

## Conclusiones

# Implementación completa: LLU

.. Graficos retardo mínimo ...



# Implementación completa: LLU

.. Graficos retardo promedio ...

# Implementación completa: LLU

.. Graficos retardo máximo ...

# Implementación completa: UTL

.. Graficos retardo mínimo ...

# Implementación completa: UTL

.. Graficos retardo promedio ...

# Implementación completa: UTL

.. Graficos retardo máximo ...

# Agenda

1

## Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

## Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Formato de la cabecera IP
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

## Arquitectura

- Arquitectura
- Diagrama en bloques: Lineas E/S

4

## Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

## Resultados

- Introducción
- Caso algoritmos unicamente
- Caso loopback
- Implementacion completa
- **Comparativa inter-algoritmos**

6

## Conclusiones

# Comparativa inter-algoritmos

.. Grafico comparativo ...

# Conclusiones

## Conclusiones

