

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
- Algoritmos de Clasificación
- Módulo extractor de cabeceras

3

Arquitectura

- Diagrama en bloques: Líneas E/S

4

Implementación

- NIOS II
- Herramientas / Recursos Utilizados
- Verificación

5

Resultados

Agenda

1

Motivación

● Requerimientos

- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Algoritmos de Clasificación
- Módulo extractor de cabeceras

3

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

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**: $n \times 100\text{Gbps}$ ($1\text{Tbps}@2015$)
- **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 = $64\text{bytes} \rightarrow 6\text{nanosegundos/paquete}$

Agenda

1

Motivación

- Requerimientos

- **Soluciones**

- Problema marco

- Objetivos

2

Sistema

- Solución Propuesta

- Descripción funcional de cada bloque

- Algoritmos de Clasificación

- Módulo extractor de cabeceras

3

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

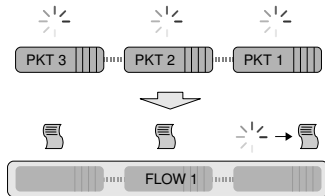
- Comparativa inter-algoritmos

6

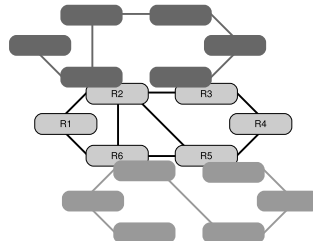
Conclusiones

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

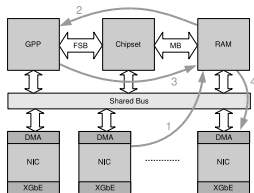
Procesadores de Propósito General (GPPs)

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

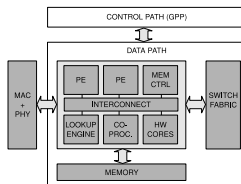
Nuevas tecnologías

Dispositivos Lógicos Programables (FPGAs)

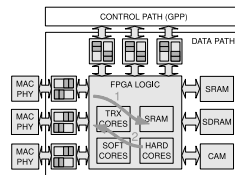
- Permiten *reconfiguración* y *reprogramación*, contando con librerías de *Open Hardware*.
- Su performance no es lejana a la de un ASIC. Fabricantes: Altera, Xilinx, Actel.
- Incorporación creciente de bloques *hardcore* especializados



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
- Algoritmos de Clasificación
- Módulo extractor de cabeceras

3

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 forwardo 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
- Algoritmos de Clasificación
- Modulo extractor de cabeceras

3

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 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.

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 de 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

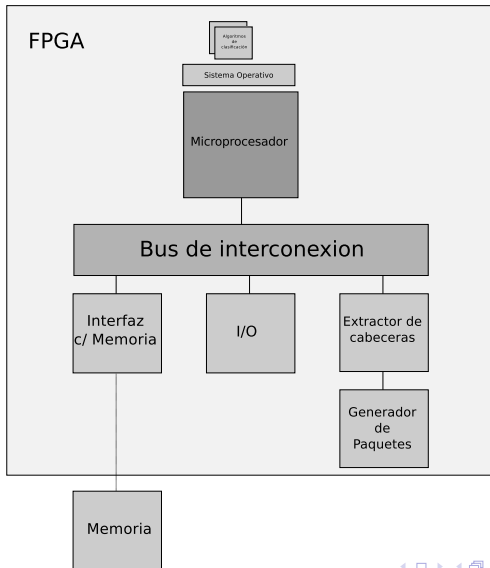
- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Algoritmos de Clasificación
- Módulo extractor de cabeceras

- Diagrama en bloques: Lineas 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
 - Algoritmos de Clasificación
 - Modulo extractor de cabeceras
- 3 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

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

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

Agenda

1

Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- **Algoritmos de Clasificación**
- Modulo extractor de cabeceras

3

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

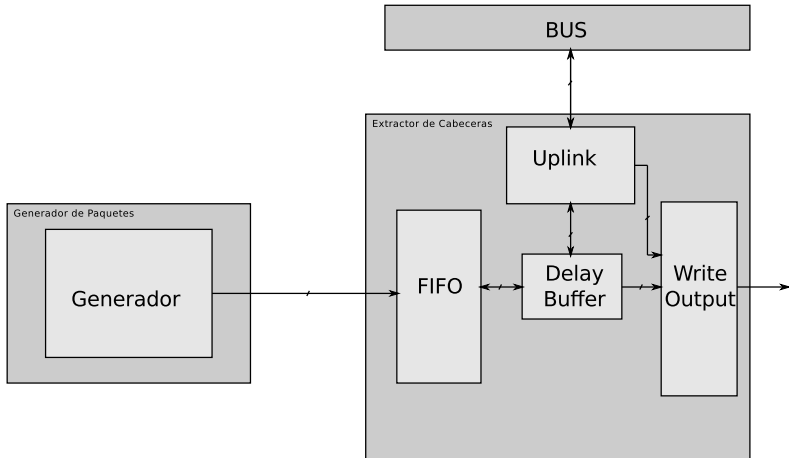
- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Algoritmos de Clasificación
- **Módulo extractor de cabeceras**

- Diagrama en bloques: Lineas 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.
- La distancia entre paquetes y el tamaño de los mismos es configurable.

FIFO

- Recibe los paquetes generados por el módulo anterior y los almacena en una memoria interna.
- De tamaño configurable.

Delay Buffer

- Va tomando los datos desde la FIFO.
- Detecta inicio y finalización de cada paquete.
- Envía las primeras 5 palabras del paquete, suficientes para cubrir la cabecera IP, a Uplink.
- Mantiene almacenado el paquete mientras el software toma una decisión.

Descripción funcional

Generador de paquetes

- Genera paquetes de red Ethernet.
- La distancia entre paquetes y el tamaño de los mismos es configurable.

FIFO

- Recibe los paquetes generados por el módulo anterior y los almacena en una memoria interna.
- De tamaño configurable.

Delay Buffer

- Va tomando los datos desde la FIFO.
- Detecta inicio y finalización de cada paquete.
- Envía las primeras 5 palabras del paquete, suficientes para cubrir la cabecera IP, a Uplink.
- Mantiene almacenado el paquete mientras el software toma una decisión.

Descripción funcional (cont)

Uplink

- Entiende las señales que maneja el Bus y puede interrumpir al 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)

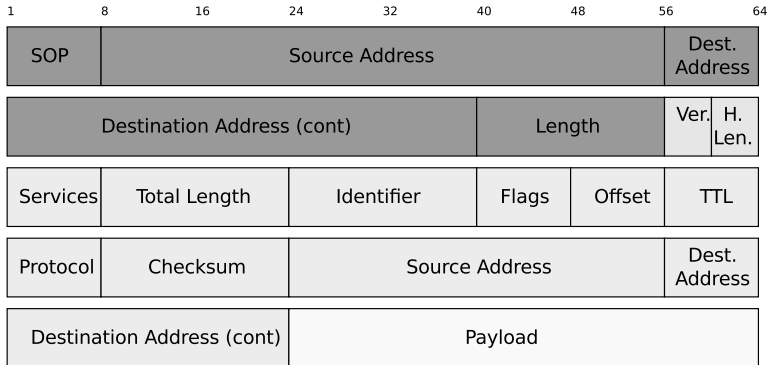
Uplink

- Entiende las señales que maneja el Bus y puede interrumpir al 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.

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
- Algoritmos de Clasificación
- Módulo extractor de cabeceras

3

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

Diagrama en bloques: Lineas E/S

—aquí el diagrama ...

Arquitectura

Interfaz Avalon MM



Agenda

- 1 Motivación
 - Requerimientos
 - Soluciones
 - Problema marco
 - Objetivos
- 2 Sistema
 - Solución Propuesta
 - Descripción funcional de cada bloque
 - Algoritmos de Clasificación
 - Módulo extractor de cabeceras
- 3 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

Microprocesador NIOS II

NIOS II



Agenda

- 1 Motivación
 - Requerimientos
 - Soluciones
 - Problema marco
 - Objetivos
- 2 Sistema
 - Solución Propuesta
 - Descripción funcional de cada bloque
 - Algoritmos de Clasificación
 - Módulo extractor de cabeceras
- 3 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

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
 - Algoritmos de Clasificación
 - Módulo extractor de cabeceras
- 3 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

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
- Algoritmos de Clasificación
- Módulo extractor de cabeceras

3

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

Introducción

Presentación de los resultados



Agenda

1

Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Algoritmos de Clasificación
- Módulo extractor de cabeceras

3

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

Caso algoritmos unicamente

.. Grafico correspondiente ...

Agenda

1

Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Algoritmos de Clasificación
- Módulo extractor de cabeceras

3

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

Caso loopback

.. Grafico correspondiente ...

Agenda

1

Motivación

- Requerimientos
- Soluciones
- Problema marco
- Objetivos

2

Sistema

- Solución Propuesta
- Descripción funcional de cada bloque
- Algoritmos de Clasificación
- Módulo extractor de cabeceras

3

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

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 ...

Comparativa inter-algoritmos

.. Grafico comparativo ...

Conclusiones

Conclusiones

