



Packet Trains-Measurements and a New Model for Computer Network Traffic

RAJ JAIN, SENIOR MEMBER, IEEE,
AND SHAWN A. ROUTHIER

IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. SAC-4, NO. 6, SEPTEMBER 1986

AUTORES

- RAJ JAIN



- Tesis: 'Control theoretic Formulation of Operating Systems Resource Management Policies'.
- Professor of Computer Science and Engineering at Washington University in St.Louis.
- Co-founder of Nayna Networks.
- Fellow of IEEE.
- Wireless Networks, Network Security, Next Generation Internet, Sensor Networks, Telecommunications Networks, Performance Analysis, Computer Networks, Optical Networks, Broadband Access, Traffic Management, Quality of Service, Datacenter Networks, TCP/IP, ATM, WiMAX, Gigabit Ethernet.

- SHAWN A. ROUTHIER

- Editor of the newest IP MIB, RFC 4293
- Interworking Labx

MEDIDAS DE TRENES DE PAQUETES Y UN NUEVO MODELO PARA EL TRÁFICO DE REDES DE ORDENADORES

INTRODUCCIÓN

MODELOS DE LLEGADAS DE PAQUETES

ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DEL TRÁFICO

APLICACIONES DEL MODELO DE TRENES

MEDIDAS DE TRENES DE PAQUETES Y UN NUEVO MODELO PARA EL TRÁFICO DE REDES DE ORDENADORES

✓ INTRODUCCIÓN

MODELOS DE LLEGADAS DE PAQUETES

ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DEL TRÁFICO

APLICACIONES DEL MODELO DE TRENES

INTRODUCCIÓN

En redes de ordenadores, un supuesto común es que las llegadas entre paquetes son independientes e impredecibles.

Modelos de patrones más comunes de llegadas de paquetes:

Modelo coche:

Llegadas entre paquetes son independientes.



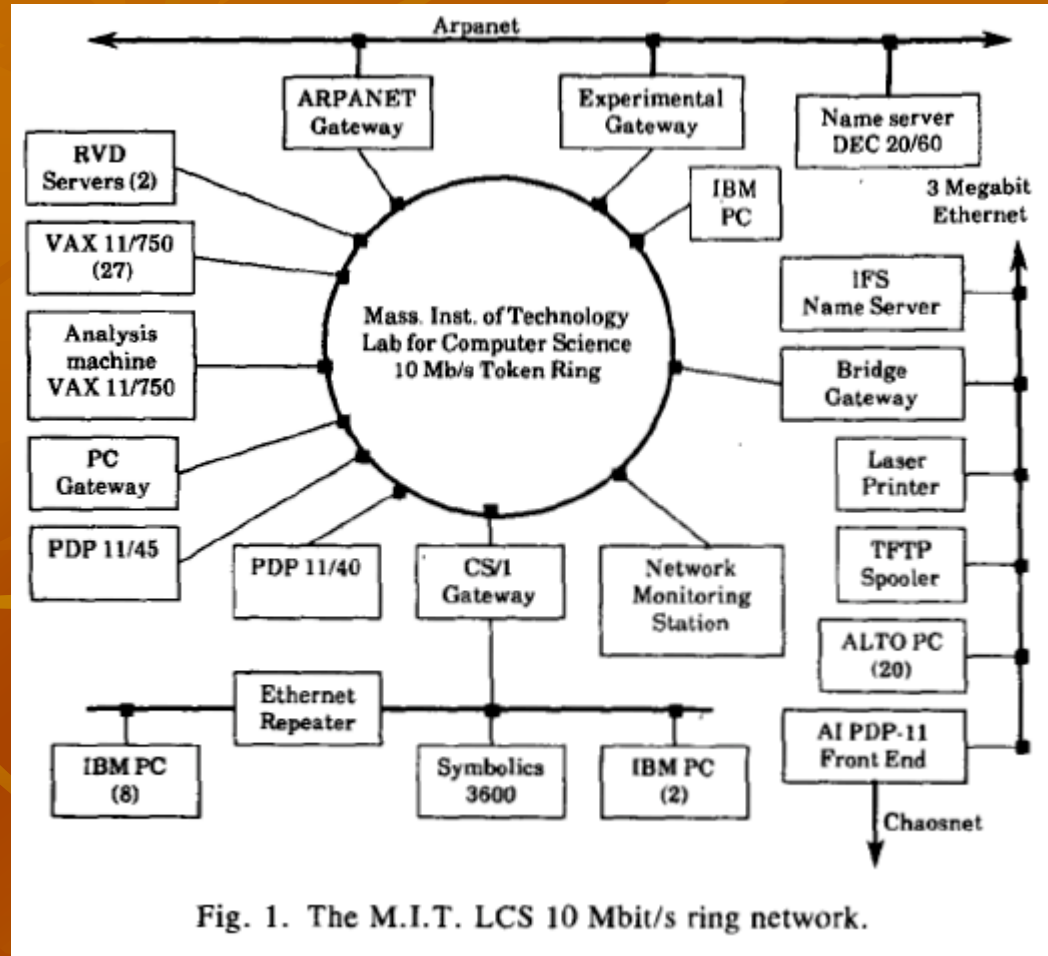
Modelo de tren:

Grupo de paquetes viajan juntos.



INTRODUCCIÓN (II)

Red utilizada para realizar las medidas.



MEDIDAS DE TRENES DE PAQUETES Y UN NUEVO MODELO PARA EL TRÁFICO DE REDES DE ORDENADORES

✓ **INTRODUCCIÓN**

✓ **MODELOS DE LLEGADAS DE PAQUETES**

ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DEL TRÁFICO

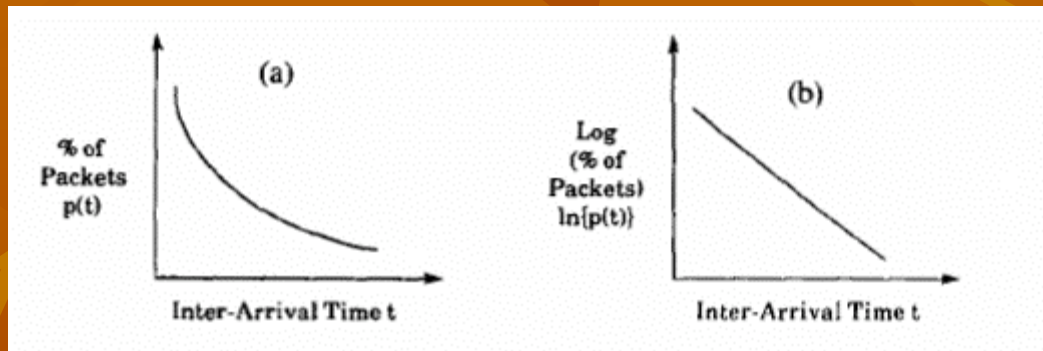
APLICACIONES DEL MODELO DE TRENES

MODELOS DE LLEGADAS DE PAQUETES

Modelo 1: Modelo de llegadas de Poisson

Tiempos entre llegadas:

- Independientes.
- Exponencialmente distribuidos.



$$p(t) = X \exp(-At).$$

$$\text{Log } \{p(t)\} = \text{log } \{X\} - At.$$

$$\text{Coef. Var.} = 1$$

Figura. *Histograma y Log(Histograma) de los tiempos entre llegadas de un proceso de Poisson.*

MODELOS DE LLEGADAS DE PAQUETES



Figura. Log (Histograma) de los tiempos entre llegadas medidos.

- Token Ring de 10 Megabit del M.I.T.
- De las 0:07 del 30 de Noviembre a las 23:45 del 6 de Diciembre de 1983
- Porcentaje de paquetes Vs. Tiempo de llegadas entre paquetes

MODELOS DE LLEGADAS DE PAQUETES

Modelo 2: Llegadas de Poisson compuestas

Proceso compuesto de Poisson

$$X_t = \sum_{i=1}^{N_t} Y_i, \quad t \geq 0$$

donde $(N_t)_{t \geq 0}$ es un proceso de Poisson y $\{Y_n : n \geq 0\}$ es una familia de v.a.i. e igualmente distribuidas las cuales además son independientes de $(N_t)_{t \geq 0}$.

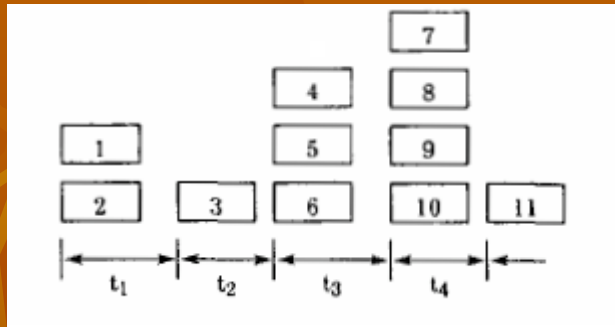


Figura. Cada proceso de Poisson compuesto consiste en una secuencia de ráfagas que llegan según Poisson. Cada ráfaga está compuesto por varias llegadas simultáneas.

Tiempos entre tandas son independientes y exponencialmente distribuidos.

El tamaño de una tanda es aleatorio, se asume que es geométrico.

En un histograma del logaritmo, las llegadas compuestas de Poisson resultarían en una línea recta con una punta cerca del origen.

MODELOS DE LLEGADAS DE PAQUETES



Figura. Log Histograma de los tiempos entre llegadas medidos.

- Token Ring de 10 Megabit del M.I.T.
- De las 0:07 del 30 de Noviembre a las 23:45 del 6 de Diciembre de 1983
- Porcentaje de paquetes Vs. Tiempo de llegadas entre paquetes

MODELOS DE LLEGADAS DE PAQUETES

Modelo 3: Procesos de llegadas de trenes

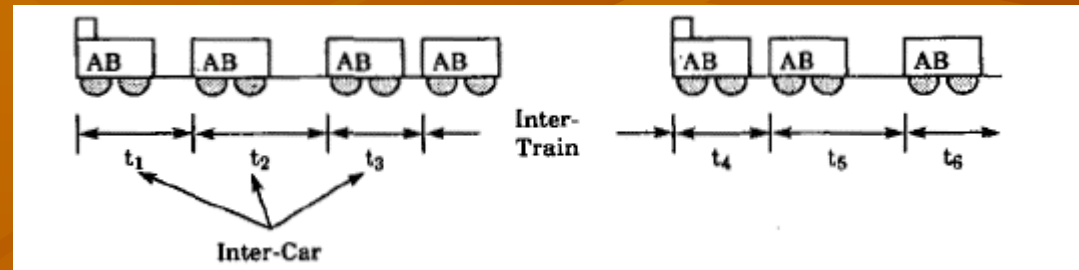


Figura. El modelo de trenes de paquetes consiste en un secuencia de paquetes viajando entre un par de nodos dados. El intervalo entre coches es muy pequeño comparado con el intervalo entre trenes.

MAIG = máximo espacio entre coches permitido

Intercar \ll MAIG

Protocolos request-response

Cajas negras Vs. Identificadores

MEDIDAS DE TRENES DE PAQUETES Y UN NUEVO MODELO PARA EL TRÁFICO DE REDES DE ORDENADORES

- ✓ **INTRODUCCIÓN**
- ✓ **MODELOS DE LLEGADAS DE PAQUETES**
- ✓ **ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DEL TRÁFICO**

APLICACIONES DEL MODELO DE TRENES

ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DEL TRÁFICO

Análisis 1: Paquetes como cajas negras

No miramos la cabecera de los paquetes.
No distinguimos paquetes basándonos en su origen o destino.

TABLE I
ANÁLISIS DE PAQUETES COMO CAJAS NEGRAS

Number of Intervals	Mean (ms)	ACF			Stand. Dev.	Coeff. Var.
		1	2	3		
11,022,088	65.8	0.015	0.046	0.043	2835.3	43.1

ACF ↓ Intervalos de tiempo sucesivos son independientes.

Coef. Var. ↑ Los tiempos entre llegadas no están exponencialmente distribuidos.

ACF ↓ + Coef. Var. ↑ → ↓ Predictibilidad

ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DEL TRÁFICO

Análisis 2: Procesos Nodo-Par

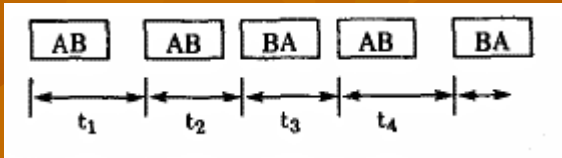


Figura. Un proceso nodo-par consiste en todos los paquetes que van entre un par de nodos dados.

Dados n nodos en la red, el flujo de paquetes puede ser dividido en $n!(n - 1)!/2$ procesos Nodo-Par.

Nodes	Number of	Mean	90-	Coeff.	ACF			
1	2	Intervals	(ms)	Perc*	Var.	1	2	3
68	86	1,320,555	123.9	70	60.0	0.1	0.1	0.0
4	9	1,275,500	381.3	435	22.3	0.0	0.1	0.1
9	86	1,258,595	28.1	25	85.1	0.0	0.2	0.0
4	75	981,888	187.4	80	63.7	0.0	0.0	0.0
6	65	427,892	447.2	500+	25.5	0.1	0.1	0.0
67	68	412,316	317.5	230	47.7	0.0	0.0	0.0
65	87	397,095	733.2	85	32.9	0.0	0.1	0.0
75	86	395,635	25.9	45	27.9	0.0	0.0	0.0
68	87	349,953	988.3	275	27.2	0.0	0.1	0.0
6	66	294,332	459.5	500+	22.1	0.0	0.0	0.0
Overall		10,850,688	1411.5	245	20.6			

^aIf a 90 percentile value is greater than 500 ms, it is shown as 500+.

Tabla. Análisis con llegadas divididas en procesos Nodo-Par.

- ACF es todavía pequeña → correlación es negligible.
- El Coef. Var. es mucho más pequeño que antes, pero alto respecto a Poisson.
- Los procesos Nodo-Par ni son Poisson ni son más predecibles que un flujo de paquetes como un todo.

ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DEL TRÁFICO

Análisis 3: Modelo de trenes

Cada proceso Nodo-Par puede ser dividido en un número de trenes especificando un MAIG.

Nodes	Number of	Mean	90-	Coeff.	ACF			
1	2	Intervals	(ms)	Perc.	Var.	1	2	3
68	86	1,315,298	31.0	70	1.6	0.0	-0.1	0.0
9	86	1,257,178	16.2	25	1.9	0.2	0.0	0.0
6	87	388,007	35.0	75	1.4	0.1	0.1	0.0
6	65	382,232	84.5	200	1.1	-0.1	0.1	0.0
68	87	332,011	55.4	155	1.6	0.0	0.0	-0.1
6	66	255,689	87.5	205	1.1	-0.2	0.2	-0.1
Inter-Car		10,228,405	51.1		1.6			
Inter-Train		622,283	23,773.0		5.0			

↑ ACF + ↓ Coef. Var. → ↑ Predictibilidad

Coef. Var. ~ 1
90P $\sim (2,3) * \text{Mean}$

Dist. Exp.

Inter-Car
dependientes

Protocolos
Request-Response

ACF < 0

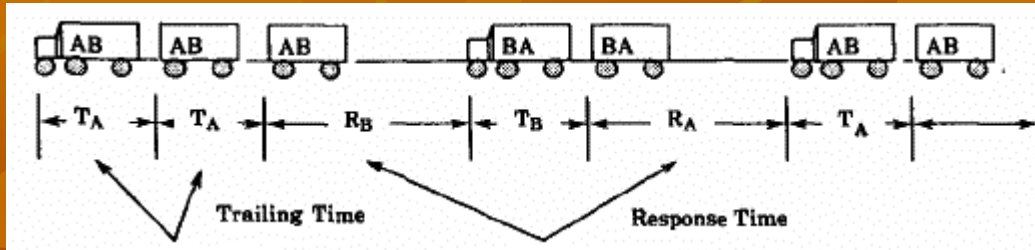
Inter-Car < Inter-Train

↓ Varianza $\neq 0$

Tabla. Análisis con procesos Nodo-Par divididos en trenes.
(MAIG = 500)

ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DEL TRÁFICO

Análisis 4: Modelo Tandem-Trailer



Depende del protocolo de red.

Figura. Un tren puede ser subdividido en varios tandem-trailers. Cada tandem-trailer está formado por varios paquetes que van en la misma dirección.

Prot.	Node #		Trailing Time		Response Time		Truck Size		Total Intervals
	A	B	A	B	A	B	A	B	
RVD	68	86	11.3	16.0	88.0	53.1	3.8	2.6	1,314,272
RVD	65	87	10.1	13.9	58.0	57.4	1.8	2.2	387,747
RVD	67	68	14.8	47.5	91.6	189.9	3.8	3.1	380,766
RVD	68	87	12.6	10.0	169.4	66.3	1.3	2.9	331,624
RVD Overall			14.0		74.4		2.4		3,999,668

RVD

Trailing << Response

UDP

Truck Size ~ 1

hay trailers

Var. ≠ 0
Predictibilidad = P. Modelo de trenes

ICMP	195	195	92.1				94759.0		94,759
ICMP	4	67	141.1				20308.0	7.0	20,315
ICMP	4	86	44.6				6883.0		6,883
ICMP	6	65	140.0				2818.0	1.0	2,819
ICMP Overall			99.6				2679.5		128,615
TCP	9	86	7.1		22.9	11.5	2.7	1.2	1,256,940
TCP	4	9	87.0	55.2	148.9	53.0	1.5	2.0	1,176,827
TCP	4	75		31.2	51.0	7.6	1.0	1.3	955,656
TCP	75	86	14.9	83.4	23.7	12.2	1.2	1.2	395,122
TCP Overall			53.0		61.6		1.5		5,965,835
All Overall			34.2		65.2		1.8		10,202,774

ICMP

Truck Size ↑

TCP

Truck Size = 1,5

ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DEL TRÁFICO

Análisis 5: Source Locality

Paquetes sucesivos tienen una tendencia a pertenecer al mismo tren.

Asumiendo una probabilidad uniforme de que un paquete venga de todas las fuentes de la red:

probabilidad {el siguiente paquete vendrá de una fuente dada i } = $1/m$

probabilidad {los siguientes 2 paquetes vendrán de una fuente dada i } = $1/m^2$

probabilidad {los siguientes 2 paquetes vendrán de la misma fuente} = $1/m$

Monitorización: 21 nodos, cada uno envía o recibe más de 100 000 paquetes.

P {dos paquetes vengan de la misma fuente} = $1/21$ o 5%

P { un paquete vaya de A a B seguido de otro paquete que vaya de A a B } = 29%

P { un paquete vaya de A a B seguido de otro paquete que vaya de B a A } = 31%

¡Una distribución uniforme no representa el tráfico en el mundo real!

ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DEL TRÁFICO

La alta 'source locality' muestra que los trenes desde diferentes pares fuente-destino no se solapan mucho.

La cantidad de solapamiento del tren depende de la carga total de la red.

Periodos de alta utilización: ↑ solapamiento y ↓ source locality.

Periodos de baja utilización: ↓ solapamiento y ↑ source locality.

La utilización de la red generalmente es baja.

Para transferencias de datos grandes → Blast Protocol

Si protocolos de este tipo se vuelven más comunes → ↑ source locality

MEDIDAS DE TRENES DE PAQUETES Y UN NUEVO MODELO PARA EL TRÁFICO DE REDES DE ORDENADORES

- ✓ **INTRODUCCIÓN**
- ✓ **MODELOS DE LLEGADAS DE PAQUETES**
- ✓ **ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DEL TRÁFICO**
- ✓ **APLICACIONES DEL MODELO DE TRENES**

APLICACIONES DEL MODELO DE TRENES

Aplicación 1: Modelado de protocolos

Un modelo apropiado de paquetes en una red es un modelo de tren.

Poisson → un parámetro

Modelo de tren → Muchos parámetros.

Inter-Train: depende del comportamiento del usuario.

Inter-Car: no depende del comportamiento del usuario pero sí del sistema y de los protocolos.

El tamaño del tren está relacionado con los tamaños de los objetos de datos.

Inter-Car Time:	
Mean	= 51.1 ms
C.O.V.	= 1.6
ACF(1)	= 0.2
ACF(2)	= 0.3
ACF(3)	= 0.2
Inter-Train Time:	
Mean	= 23.8 sec
C.O.V.	= 5.0
Number of Cars/Train	= 17.4
Number of Cars/Truck	= 1.8

Los valores numéricos varían para diferentes sistemas, implementaciones de protocolo y niveles de carga, pero sus valores relativos son importantes para el modelo.

Encontrar alguna idea de funciones de distribución de probabilidad.

APLICACIONES DEL MODELO DE TRENES

Aplicación 2: Path Caching in Protocol Implementation

Podemos predecir con alta probabilidad que el destino de un paquete será el mismo destino o misma fuente que el paquete anterior.

En una red con varios miles de nodos dirigir un paquete requiere una búsqueda en una tabla sofisticada.

Gracias al 'source locality': Considerables ahorros en la tabla de búsqueda con guardar el último paquete en la tabla y se reduce el Overhead.

Aplicación 3: N° de Buffers en Routers/Gateways/Bridges

Parámetro clave en el diseño de red.

Nodo de conexión de Red Lenta con Red Rápida → Colas

Modelo M/M/1 → n° de buffers para no desbordamiento.

El resultado sólo está basado en la media de los tiempos entre llegadas y la media del tiempo de servicio.

Modelo de tren → buffers función(tamaño del tren)

Trenes pueden crear más congestión que la predecida por el modelo M/M/1.

APLICACIONES DEL MODELO DE TRENES

Aplicación 4: Gestión de circuitos dinámicos

Conexión telefónica:

Circuito es establecido sólo durante la duración de la transferencia.

Para minimizar los costes, debería cerrarse tan pronto como sepamos que no va a llegar tráfico inmediato.

Con el modelo de Poisson, las llegadas de paquetes son independientes y el hecho de haber visto un paquete durante la última hora no tiene efecto en la probabilidad de llegada en el siguiente segundo.

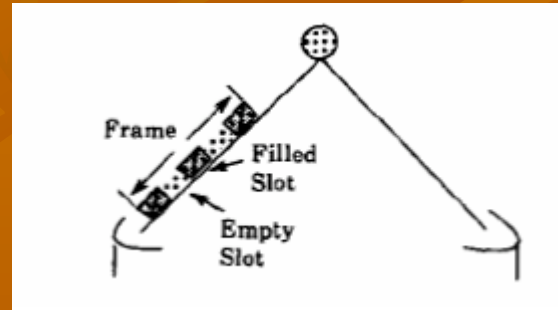
Con el modelo de tren, podría establecerse un punto límite basado en la distribución de las llegadas entre coches y cerrar la conexión cuando el intervalo de tiempo sobrepase el valor de corte.

El punto óptimo de corte dependerá de los parámetros del tren así como de la estructura del tráfico.

APLICACIONES DEL MODELO DE TRENES

Aplicación 5: Reservation Switching

Reservation switching: enlaces de satélites. Tráfico de voz.



Eficiencia = función (tamaño del frame)

Para tráfico de datos, la determinación del tamaño óptimo del frame no es directo ya que los paquetes de datos no llegan según un patrón regular.

Tamaño ideal del frame = intervalo Inter-Car.

RESUMEN

- Los procesos de llegada de paquetes **no son procesos de Poisson** ni **procesos compuestos de Poisson**.
- Las llegadas de paquetes siguen un **modelo de tren**.
- Un tren consiste en paquetes viajando en ambas direcciones entre un par de nodos dados. Aunque los paquetes de un tren están cercanos unos a otros, están lo suficientemente separados entre sí como para considerar que sus llegadas son simultáneas.
- El intervalo entre coches es mucho más pequeño que el intervalo entre trenes.
- El tiempo entre trenes es un parámetro del usuario y depende de la frecuencia con que las aplicaciones usen la red.
- El intervalo entre coches es un parámetro del sistema y depende del hardware y el software de la red.
- El modelo de tren es una **generalización** de otros modelos.



Packet Trains-Measurements and a New Model for Computer Network Traffic

RAJ JAIN, SENIOR MEMBER, IEEE,
AND SHAWN A. ROUTHIER

IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. SAC-4, NO. 6, SEPTEMBER 1986