

RIASSUNTO

TITOLO:

METODO PER LA MISURA PASSIVA DEL RITARDO ONE-WAY E  
DEL NUMERO DI PACCHETTI PERSI IN RETI DI  
TELECOMUNICAZIONI BASATE SU PACCHETTI.

RICHIEDENTI:

Mario Cola, nato a Roma, il \_\_/\_\_/\_\_\_\_, residente  
in \_\_\_\_\_

Giorgio De Lucia, nato a Gaeta (LT), il  
\_\_/\_\_/\_\_\_\_, residente in \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Daria Mazza, nata a Roma, il \_\_/\_\_/\_\_\_\_,  
residente in \_\_\_\_\_

Maurizio Patrignani, nato a Terni, il \_\_/\_\_/\_\_\_\_,  
residente in \_\_\_\_\_

Maurizio Pizzonia, nato a Roma, il \_\_/\_\_/\_\_\_\_,  
residente in \_\_\_\_\_

Massimo Rimondini, nato a Civitavecchia, il  
\_\_/\_\_/\_\_\_\_, residente in \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

tutti di nazionalità italiana.

INVENTORI:

Mario Cola, nato a Roma, il \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Giorgio De Lucia, nato a Gaeta (LT), il  
\_\_/\_\_/\_\_\_\_

Daria Mazza, nata a Roma, il \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Maurizio Patrignani, nato a Terni, il \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Massimo Rimondini, nato a Civitavecchia, il  
\_\_/\_\_/\_\_\_\_

tutti di nazionalità italiana.

SETTORE DELLA TECNICA

La presente invenzione propone un metodo di misura passiva del numero di pacchetti persi e del tempo di consegna dei pacchetti per reti di telecomunicazioni basate su pacchetti.

RIASSUNTO

L'invenzione fornisce un metodo per la realizzazione, su reti di telecomunicazioni basate su pacchetti, di sistemi passivi di misura del ritardo "one-way" introdotto dalla rete per ciascun pacchetto e del numero di pacchetti persi nella rete.

Il metodo proposto è passivo nel senso che non introduce ulteriori pacchetti per effettuare la misura e la misura viene effettuata sul traffico che regolarmente viene trasmesso nella rete, e non su pacchetti di test aggiuntivi appositamente generati per effettuare la misura stessa.

Il metodo proposto si differenzia rispetto allo stato dell'arte dei metodi di misura passivi perché non prevede infrastrutture di comunicazione ausiliarie, e tuttavia permette di misurare il ritardo di ciascun pacchetto e il numero di pacchetti persi dalla rete.

Il metodo proposto non introduce nella rete pacchetti aggiuntivi su cui effettuare la misura. Le informazioni necessarie ad effettuare la misura sono comunicate tra gli elementi dell'architettura modificando i pacchetti del traffico che attraversano la rete ed utilizzando codifiche delle informazioni che permettono di ottenere buoni risultati anche con un numero esiguo di bit.

#### ARTE ANTERIORE

La misura del ritardo introdotto da una rete e del numero dei pacchetti persi è normalmente eseguita

su pacchetti che vengono inviati dagli apparati di rete appositamente per effettuare la misura, e quindi non sul vero traffico degli utenti della rete. Esempi di tecnologie che adottano un tale approccio sono "Cisco IOS IP Service Level Agreement", 2005, Cisco Systems Inc.; "Real-Time Performance Monitoring Service, JUNOS -- Services Interfaces Configuration Guide -- Release 9.2", 2008, Juniper Networks Inc. Diversi brevetti descrivono architetture basate su questo approccio (ad esempio Doerken et al. US 2004/0024550 A1).

In alternativa, gli approcci di misura passiva prevedono di eseguire la misura direttamente sul traffico. I sistemi di misura passiva proposti fino ad ora prevedono lo scambio, tra le varie parti che compongono il sistema, di una grande quantità di informazioni sulla misura. Alcune soluzioni di misura passiva note in letteratura prevedono l'uso di una costosa rete supplementare (P. Arlos, M. Fiedler, A. A. Nilsson, "A Distributed Passive Measurement Infrastructure", PAM 2005; Tektronix Inc. EP 1 130 850 A2, 2001; Agilent Technologies Inc. EP 1 202 491 A2, 2002). Altre, per rendere economicamente percorribile l'uso di misure passive prevedono di

usare la stessa infrastruttura di rete da misurare e di campionare il traffico, cioè di limitare la misura ad una porzione limitata del traffico. Il campionamento in tal caso è necessario anche per non degradare le prestazioni della rete stessa (C. Fraleigh, C. Diot, B. Lyles, S. Moon, P. Owezarski, K. Papagiannaki, F. Tobagi, "Design and Deployment of a Passive Monitoring Infrastructure", PAM 2001; K. Keys, D. Moore, R. Koga, E. Lagache, M. Tesch, kc Claffy, "The Architecture of CoralReef: an Internet Traffic Monitoring Software Suite", PAM 2001; T. Grenot, US Patent No. 6,853,619, 2005). Relativamente alla codifica di informazioni (per esempio timestamp) in un pacchetto, metodi diversi da quanto descritto nel presente brevetto sono descritti in Hatley et al. US 2005/0286564 A1.

## DESCRIZIONE

### BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

La figura 1 mostra l'architettura con cui sono organizzati gli elementi del metodo di misura proposto.

La figura 2 mostra come sia possibile codificare informazioni di misura ampliando il campo dati dei pacchetti di un livello della pila protocollare.

### DESCRIZIONE DELL'INVENZIONE

Il metodo proposto prevede di effettuare la misura di ritardo o di perdita di pacchetti per un *flusso* monodirezionale di pacchetti. Il flusso di pacchetti è identificato in base agli indirizzi di provenienza o destinazione, in base ai protocolli usati o mediante altra caratteristica che non vari nel percorso dei pacchetti all'interno della rete.

L'architettura proposta per un singolo flusso può essere replicata all'interno di una rete per più flussi. La figura 1 mostra l'architettura proposta relativamente ad un singolo flusso.

Si suppone che tale architettura sia gestita e configurata da una persona fisica o da una organizzazione che verrà indicata nel seguito come *operatore*.

Nel seguito chiameremo *pacchetti di traffico* i pacchetti del flusso che attraversano la rete in condizioni normali di operatività (quindi senza nessun sistema di misura in azione).

I pacchetti di traffico attraversano un *agente upstream*, il quale calcola delle *informazioni di misura* associate a ciascun pacchetto del flusso.

Le informazioni di misura vengono inviate attraverso la rete assieme al normale traffico verso l'*agente downstream*. Quest'ultimo interpreta le informazioni di misura per il flusso considerato, le elabora e, in certi istanti (ad esempio alla ricezione di un pacchetto), produce valori di misura che passa ad un processo di calcolo statistico, il quale memorizza valori aggregati sui dati rilevati (ad esempio media e varianza, per intervalli di tempo configurati). I valori aggregati possono poi essere resi disponibili all'operatore secondo varie modalità (via Web, tramite protocollo SNMP, ecc.) oppure

essere utilizzati per generare allarmi qualora superino soglie configurate dall'operatore.

#### REALIZZAZIONE DEGLI AGENTI UPSTREAM E DOWNSTREAM

Gli agenti upstream e gli agenti downstream possono essere realizzati come dispositivi indipendenti oppure come sottosistemi di apparecchiature di rete quali, ad esempio, router, switch, firewall o computer o altri dispositivi adibiti al normale funzionamento della rete. Tali dispositivi possono avere un'architettura in cui l'elaborazione sui pacchetti ricevuti e quella sui pacchetti da trasmettere viene realizzata mediante opportuno software (ad esempio firmware) o per mezzo di opportuno hardware (ad esempio ASIC o FPGA) o una combinazione di questi.

La realizzazione degli agenti upstream e downstream, sia come dispositivi indipendenti che come sottosistemi di un dispositivo di rete, può avvenire, seguendo principi di progettazione analoghi a quelli dei dispositivi di rete, mediante implementazione software, implementazione hardware o loro combinazioni.



## CODIFICA DELLE INFORMAZIONI DI MISURA TRASMESSE TRA AGENTI UPSTREAM E DOWNSTREAM

Le informazioni di misura calcolate dall'agente upstream per ciascun pacchetto vengono inviate all'agente downstream codificate all'interno del pacchetto stesso.

La codifica fa uso di bit che, pur presenti nel pacchetto, non vengono considerati e modificati dai sistemi intermedi. Nelle reti di telecomunicazioni le informazioni all'interno dei pacchetti sono suddivise in *campi*, a seconda della loro funzione. La codifica può essere effettuata sfruttando campi non utilizzati, mediante l'uso di campi opzionali, o mediante ampliamento del campo dati di uno dei *protocol-data-unit* dei livelli della pila protocollare.

Utilizzo di campi non usati. Se esistono campi nelle intestazioni dei *protocol-data-unit* che non sono usati dai sistemi di rete, ad esempio perché in disuso o perché i sistemi intermedi sono configurati per ignorare tali campi, è possibile utilizzare i bit di tali campi per codificare le informazioni di misura. Ad esempio, nel caso comune di reti basate sul protocollo IP, i seguenti campi dell'header, o

loro porzioni, possono essere selezionati per ospitare le informazioni di misura codificate: "identifier", "don't fragment", "fragment offset", "type of service", "reserved". Lo spazio disponibile per le informazioni codificate in questo caso è dell'ordine di 10-40 bit per ogni pacchetto.

Utilizzo di campi opzionali. I protocolli di rete possono prevedere per standard campi opzionali che possono essere ignorati dai sistemi intermedi; i bit di tali campi possono essere usati per codificare le informazioni di misura. Un esempio di uso di campi opzionali per la codifica di informazioni di misura in IP è mostrato in Z. Trabelsi et al. "A novel covert channel based on the IP header record route option", International Journal of Advanced Media and Communication, 2007.

Ampliamento del campo dati di uno dei *protocol-data-unit* dei livelli della pila protocollare (vedi figura 2). Questa tecnica è applicabile quando sono vere le seguenti due assunzioni:

- la lunghezza massima dei pacchetti che possono viaggiare nella rete dell'operatore è maggiore della lunghezza massima dei pacchetti di traffico che transitano nella rete,

- i sistemi intermedi lavorano a livello  $n$  della pila protocollare e prendono decisioni basate solo sull'*header* e sull'eventuale *trailer* di livello  $n$  ma non sul contenuto del campo dati di livello  $n$  né modificano il suo contenuto.

L'agente upstream modifica ciascun pacchetto aumentando la dimensione del campo dati della protocol-data-unit di livello  $n$  di tanti byte quanti sono necessari per codificare le informazioni di misura, e quindi aumentando la dimensione totale del pacchetto di una analoga quantità di byte. I byte aggiuntivi sono usati o per effettuare un *inserimento in testa*, cioè tra header di livello  $n$  e campo dati di livello  $n$ , o per effettuare un *inserimento in coda*, cioè tra campo dati di livello  $n$  e fine del pacchetto o trailer di livello  $n$ . Le informazioni di misura così inserite saranno considerati da un sistema intermedio operante a livello  $n$  come contenuto del campo dati di livello  $n$  e come tale non influenzeranno il comportamento di tali sistemi. L'agente downstream, oltre a decodificare le informazioni di misura ed effettuare i calcoli relativi (vedi successivi due paragrafi) dovrà farsi carico di rimuovere tali informazioni dai pacchetti

traffico, ripristinando l'originario contenuto del campo dati.

CODIFICA E DECODIFICA DELLE INFORMAZIONI DI MISURA  
RELATIVE ALLA MISURA DEL RITARDO "ONE-WAY" INTRODOTTO  
DALLA RETE

Per la misura del ritardo "one-way" introdotto dalla rete l'informazione di misura associata a ciascun pacchetto è un *timestamp*, cioè il valore dell'orologio dell'agente upstream nel momento in cui il pacchetto lo attraversa. L'agente downstream calcola il ritardo "one-way" per il pacchetto confrontando il timestamp con il valore del proprio orologio al momento della ricezione del pacchetto.

Il metodo di codifica e decodifica dei timestamp qui descritto utilizza un numero di bit specificato dall'operatore e permette di ottenere un errore sulla misura che sia minore di una soglia specificata dall'operatore con una probabilità specificata dall'operatore.

Gli orologi degli agenti upstream e downstream devono essere sincronizzati con una tolleranza, o offset, massima pari a  $\delta$ , che rappresenta la differenza massima tra i valori riportati dai due

orologi in ogni istante. Il numero di bit usati per codificare il timestamp per ciascun pacchetto è indicato con  $B$ . L'agente downstream decodifica il timestamp contenuto nel pacchetto e ne fa la differenza con il proprio orologio per ricavare il valore del ritardo introdotto dalla rete.

Dato il limitato numero di bit disponibili per la codifica delle informazioni di misura, la misura viene eseguita in unità di quantizzazione  $\alpha\delta$  con  $\alpha > 1$ . In questo caso l'errore di quantizzazione è uniformemente distribuito nell'intervallo  $[-\alpha\delta/2, \alpha\delta/2]$  con probabilità  $1/\alpha\delta$ . Tale errore si verifica sia presso l'agente upstream sia presso il downstream, dando luogo ad un errore di quantizzazione totale compreso nell'intervallo  $[-\alpha\delta, \alpha\delta]$ .

Il numero limitato di bit permette di codificare un timestamp modulo  $k$ , con  $k = \alpha\delta 2^B$ .

Il metodo che si propone permette all'operatore di avere garanzia che errori maggiori di una certa soglia  $T$  sulla misura del ritardo "one-way" avvengano con probabilità inferiore a  $P$ .

Poiché i timestamp sono codificati modulo  $k$ , ritardi molto elevati espongono ad errori di

overflow. Perché si possa offrire una garanzia sull'errore commesso nella misura, è dunque necessario che la probabilità di avere un ritardo maggiore di  $k$  sia essa stessa minore di  $P$ .

E' possibile dimostrare che, fissato  $k$  tale che la probabilità di avere un ritardo maggiore di  $k$  è minore di  $P$ , e scegliendo  $\alpha=T/\delta$ , esiste sempre un valore di  $B$  che permette di commettere un errore superiore a  $T$  sulla misura del ritardo "one-way" con probabilità inferiore a  $P$ , per qualsiasi  $P$ .

Data quindi una probabilità  $P$  e un valore  $k$  tale che i pacchetti sulla rete abbiano ritardo superiore a  $k$  con probabilità minore di  $P$ , è possibile mettere in relazione  $T$  e  $B$  secondo la seguente formula

$$k=T2^B$$

al fine di ottenere una misura di ritardo che rientra nelle specifiche.

METODO DI CODIFICA E DECODIFICA DELLE INFORMAZIONI DI MISURA RELATIVE ALLA MISURA DEL NUMERO DI PACCHETTI PERSI NELLA RETE

Il metodo di codifica e decodifica qui esposto permette di ottenere una misura precisa se il massimo intervallo di tempo tra l'invio di due pacchetti

consecutivi è minore di una certa soglia specificata dall'operatore e i pacchetti fuori sequenza possono essere in ritardo di un numero di posizioni massimo specificato dall'operatore.

Per la misura del numero di pacchetti persi nella rete l'informazione di misura associata a ciascun pacchetto è un numero di sequenza nell'ambito del flusso. La codifica di tale numero di sequenza associata a ciascun pacchetto  $p$  è un'etichetta numerica  $L(p)$  calcolata nel modo seguente. Sia  $n(p)$  il numero di sequenza di  $p$  nell'ambito del flusso, ricavato dal contatore dei pacchetti del flusso che hanno attraversato l'agente upstream.  $L(p)$  è data da  $\text{floor}(n(p)/G)$  dove  $G$  è un numero intero che rappresenta il numero di pacchetti consecutivi del flusso a cui è associata la stessa etichetta e la funzione  $\text{floor}()$  è la parte intera inferiore del suo argomento. Se supponiamo di avere un numero di bit  $B$  limitato con cui codificare l'etichetta di ciascun pacchetto, deve essere  $0 \leq L(p) \leq 2^B - 1$ , e quindi la sequenza delle etichette si ripete con un periodo di  $G \cdot 2^B$  pacchetti.

L'agente downstream calcola il numero di pacchetti persi nel seguente modo.

L'agente downstream mantiene in ogni istante una coppia di contatori  $c(L)$  e  $Ktot(L)$  associati a diverse etichette  $L$ .

Ogni volta che l'agente downstream riceve un pacchetto con etichetta  $L$  calcola  $c(L)=c(L)+1$ , dove  $c(L)$  è il numero di pacchetti con etichetta  $L$  ricevuti fino a quel momento. Supponendo che sia  $t$  il tempo trascorso tra la ricezione dell'ultimo pacchetto e la ricezione del precedente, l'agente downstream calcola il massimo numero di periodi  $K(L)$  che possono essere stati persi dalla rete tra la ricezione dell'ultimo pacchetto e del precedente:  $K(L)=\text{floor}(t \cdot Fmax / (G \cdot 2^B))$ , dove  $Fmax$  è la frequenza massima di trasmissione di pacchetti nel flusso.  $Ktot(L)$  è un accumulatore che conta il massimo numero di periodi persi tra la ricezione di due pacchetti con etichetta  $L$ . Ad ogni ricezione di un pacchetto si calcola  $Ktot(L) = Ktot(L)+K(L)$ .

L'utilizzo di una sola coppia di contatori  $c(L)$  e  $Ktot(L)$ , relativi all'etichetta dell'ultimo pacchetto ricevuto, è ammissibile nel caso in cui la rete non introduca pacchetti fuori sequenza. Se è possibile avere nella rete riordino di pacchetti, ed un pacchetto può essere ritardato di al più  $S$  posti,



allora è necessario mantenere  $m = \text{floor}(S/2^B) + 1$  coppie di contatori  $c(L)$  e  $K_{tot}(L)$  per le ultime  $m$  etichette ricevute e ciò è sufficiente a contare tutti i pacchetti fuori sequenza.

Al momento della ricezione di un pacchetto etichettato con una nuova etichetta  $L+1$  si crea una nuova coppia di contatori  $c((L+1) \bmod 2^B) = 1$  e  $K_{tot}((L+1) \bmod 2^B)$  e si effettua la contabilizzazione dei pacchetti persi per l'etichetta  $(L-m) \bmod 2^B$ . Il numero dei pacchetti persi con tale etichetta è compreso tra

$$G - c((L-m) \bmod 2^B) \quad (1)$$

e

$$G - c((L-m) \bmod 2^B) + K_{tot}((L-m) \bmod 2^B) \cdot G \cdot 2^B.$$

La misura dei pacchetti persi dalla rete è data esattamente dalla formula (1) nel caso in cui nella rete il tempo  $t$  tra due istanti di invio di pacchetti consecutivi rispetti:

$$t < G \cdot 2^B / F_{max} \quad (2)$$

Supponendo che tale condizione sia verificata, il numero totale di pacchetti persi si calcola aggiornando un accumulatore  $P$ , inizialmente pari a zero, nel seguente modo:

$$P = P + G - c((L-m) \bmod 2^B)$$

La condizione espressa dalla formula (2) può essere verificata sull'agente upstream, su cui tutti i periodi di silenzio maggiore di  $G \cdot 2^B / F_{max}$  possono venir rilevati, registrati, e confrontati, in una fase successiva, con le misure registrate dall'agente downstream.

Nel caso in cui i parametri della rete facciano sì che la condizione della formula (2) non sia rispettata in un numero significativo di casi, il sistema di misura potrebbe contabilizzare anche il numero massimo di periodi persi mediante un accumulatore  $KP$ , inizializzato a zero, e aggiornato nel seguente modo:

$$KP = KP + K_{tot}((L-m) \bmod 2^B)$$

Tale valore può quindi essere comparato con un analogo calcolo dei silenzi che violano la condizione (2) effettuato dall'agente upstream.

Una possibile variante dello schema proposto è quella in cui la rete soddisfa la condizione (2) con alta probabilità e sia interessante solo sapere se ci sono evidenze che ciò non si sia verificato. In tal caso, i contatori  $K_{tot}(L)$  possono essere sostituiti con dei flag che indicano che  $K_{tot}(L)$  è maggiore di zero. Tale approccio permette ancora di rilevare che

la misura può essere imprecisa pur non permettendo un confronto esatto con eventuali rilevazioni effettuate dall'agente upstream.

Esempio pratico. Supponiamo di voler misurare la quantità di pacchetti persi in una rete basata su tecnologia Gigabit ethernet con  $F_{max}=1488095$  pacchetti/sec, di avere  $B=10$  bit a disposizione per l'invio delle informazioni di misura, che l'agente upstream etichetti  $G=1.000.000$  pacchetti consecutivi con la stessa etichetta e che nella rete possano verificarsi riordini di al più  $S=3.000$  posizioni.

Il metodo di codifica proposto è in grado di contare il numero di pacchetti persi dalla rete utilizzando 3 coppie di contatori. Il conteggio è privo di incertezza se nella rete il tempo  $t$  tra due istanti di invio di pacchetti consecutivi è inferiore a 11,5 minuti.

#### VARIANTI DEI METODI DI CODIFICA DELLE INFORMAZIONI DI MISURA

Le informazioni di misura, siano esse utilizzate per la misura del one-way delay o del numero di pacchetti persi, possono essere codificate

interamente nel pacchetto cui sono associate, come illustrato nei paragrafi precedenti, oppure in un insieme di pacchetti (ad esempio una sequenza di pacchetti consecutivi), traendo vantaggio della possibilità di aggregare informazioni relative a più pacchetti.

Qualora le informazioni di misura siano codificate in un insieme di pacchetti, tale insieme può essere diverso da quello a cui le informazioni di misura sono associate. Ad esempio, le informazioni di misura relative ai pacchetti con numero d'ordine da  $n$  a  $n+k$  possono essere codificate in un'altra sequenza di pacchetti con numero d'ordine da  $n+k+1$  a  $n+2k$ .

A prescindere dai pacchetti utilizzati per la trasmissione, la codifica delle informazioni di misura può essere effettuata utilizzando dei metodi di compressione assieme alle codifiche presentate nei paragrafi precedenti. Ciò può permettere di aumentare la quantità di bit a disposizione per trasmettere le informazioni di misura per ciascun pacchetto.

Nel caso di reti con un numero significativo di pacchetti persi, le tecniche di codifica presentate nei paragrafi precedenti possono essere utilizzate insieme a codifiche con correzione di errore.

## RIVENDICAZIONI

1. Metodo, per reti di telecomunicazioni basate su pacchetti, per la misura, senza l'introduzione di pacchetti di test, del ritardo introdotto dalla rete per ciascun pacchetto di un flusso o della quantità di pacchetti persi di un flusso o di entrambi, comprendente i seguenti passi:

- ricezione, da parte di un agente upstream dotato di un orologio o di un contatore dei pacchetti del flusso o di entrambi, dei pacchetti del flusso oggetto di misura;
- associazione a ciascun pacchetto di informazioni di misura che lo stesso agente upstream di cui al passo precedente deriva dal proprio orologio o dal contatore del flusso o da entrambi;
- codifica, da parte dello stesso agente upstream di cui al passo precedente, di tali informazioni, o parte di esse, nell'header o nel campo dati dei pacchetti stessi, in maniera tale che i pacchetti modificati possano attraversare i sistemi intermedi senza che le informazioni di misura siano alterate e senza che queste alterino il comportamento dei sistemi intermedi e dei sistemi a cui i pacchetti

sono destinati, per esempio usando il campo "identification" dell'header del protocollo IP;

- inoltre, da parte dello stesso agente upstream di cui al passo precedente, dei pacchetti modificati verso la destinazione;

- ricezione, da parte di un agente downstream dotato di un orologio sincronizzato con l'orologio dell'agente upstream con un dato margine di tolleranza, o di contatori di pacchetti ricevuti o di entrambi, dei pacchetti del flusso contenenti la codifica dell'informazione di misura;

- decodifica, da parte dello stesso agente downstream di cui al punto precedente, dell'informazione di misura inviata dall'agente upstream e calcolo del ritardo one-way per ciascun pacchetto del flusso o del numero di pacchetti persi dalla rete per il flusso o di entrambe le misure;

- inoltre, da parte dello stesso agente downstream di cui al passo precedente, dei pacchetti verso la destinazione.

2. Metodo, secondo la rivendicazione 1, in cui gli agenti upstream e gli agenti downstream sono realizzati come dispositivi indipendenti o come sottosistemi di apparecchiature di rete quali, ad

esempio, router, switch, firewall o computer o altri dispositivi aventi tali funzioni, in hardware o software o combinazione di questi.

3. Metodo, secondo le rivendicazioni 1 o 2, in cui la trasmissione delle informazioni di misura viene effettuata codificando tali informazioni all'interno dei pacchetti in transito sulla rete, e specificatamente in uno dei seguenti modi:

usando per la codifica campi o parti di campi dei pacchetti trasmessi nella rete che non siano utilizzati, come ad esempio i campi del protocollo IP "identification", "fragment offset", "TOS", "DSCP", campi riservati;

usando per la codifica campi opzionali già previsti dai protocolli utilizzati nella rete;

usando per la codifica bit ricavati dall'ampliamento del campo dati di un qualsiasi protocollo della pila protocollare.

4. Metodo, secondo le rivendicazioni 1, 2 o 3, in cui le informazioni di misura associate ad un certo pacchetto sono trasmesse codificate su un insieme di più pacchetti.

5. Metodo, secondo le rivendicazioni 1, 2, 3 o 4, in cui le informazioni di misura associate ad un insieme

di pacchetti sono codificate, opzionalmente usando codifiche compresse o codifiche con correzione di errore o entrambi i casi, in un insieme di pacchetti che può essere diverso da quello a cui le informazioni di misura sono associate.

6. Metodo, secondo le rivendicazioni precedenti, per la codifica di timestamp per la misura di ritardo one-way in un numero di bit specificato dall'operatore, che permette di ottenere, per il ritardo introdotto dalla rete per ciascun pacchetto, un errore sulla misura minore di una data soglia specificata dall'operatore con una probabilità specificata dall'operatore.

7. Metodo, secondo le rivendicazioni 1, 2, 3, 4 o 5, per la codifica di numeri di sequenza per la misura dei pacchetti persi nella rete in un numero di bit specificato dall'operatore, che permette di ottenere, per il numero di pacchetti persi nella rete, una misura precisa se il massimo intervallo di tempo tra l'invio di due pacchetti consecutivi è minore di una certa soglia specificata dall'operatore e i pacchetti fuori sequenza possono essere in ritardo di un numero di posizioni massimo specificato dall'operatore.



## CLAIMS

1. Method, for packet-based telecommunication networks, to measure, without introducing test packets, the one-way delay introduced by the network on each packet of a traffic flow or the quantity of packets of the flow lost by the network or both of them, comprising the following steps:

- reception, by an upstream agent equipped with a clock or with a counter of sent packets for the flow or with both of them, of the packets of the flow being measured;
- association, to each packet, of measurement information that the same upstream agent mentioned in the previous step obtains from its own clock or counter of packets or both of them;
- encoding, by the same upstream agent mentioned in the previous step, of these information, or part thereof, inside the header or data field of the packets themselves, in such a way that the altered packets can traverse the intermediate systems without measurement information being changed and without changing the behaviour of the intermediate systems and of the systems to which the packets are

addressed, for example using the "identification" field of the IP protocol header;

- forwarding, by the same upstream agent mentioned in the previous step, of the altered packets to their destination;

- reception, by a downstream agent equipped with a clock, synchronized with the clock of the upstream agent with a given maximum offset, or with counters of received packets or with both of them, of the packets of the flow that contain the encoded measurement information;

- decoding, by the same downstream agent mentioned in the previous step, of the measurement information sent by the upstream agent, and computation of the one-way delay for each packet of the flow or of the number of lost packets in the network for the flow or both of them;

- forwarding, by the same downstream agent mentioned in the previous step, of the packets to their destination.

2. Method, according to claim 1, in which the upstream and downstream agents are implemented as subsystems of network devices such as routers, switches,

firewalls, or computers, either in hardware or in software or a combination thereof.

3. Method, according to claim 1 or 2, in which measurement information is transmitted by encoding such information inside the packets in transit on the network, and specifically in one of the following ways:

using for the encoding unused fields, or portions of fields, of the packets that are regularly transmitted on the network, such as the following fields of the Internet Protocol: "identification", "fragment offset", "TOS", "DSCP", reserved fields;

using for the encoding optional fields already provided by the protocols used in the network;

using for the encoding bits obtained by enlarging the data field of a protocol data unit of the protocol stack.

4. Method, according to claims 1, 2, or 3, in which measurement information associated with a packet are transmitted encoded in more than one packet.

5. Method, according to claims 1, 2, 3, or 4, in which measurement information associated with a set of packets are encoded, optionally using a compression encoding or an error correcting encoding or both, on

a set of packets which can be different from the one the measurement information is associated with.

6. Method, according to the preceding claims, for encoding a timestamp, for measuring the one-way packet delay, in a certain number of bits specified by the operator, which allows the operator to obtain a measurement error less than a threshold specified by the operator with a probability specified by the operator.

7. Method, according to claim 1, 2, 3, 4, or 5, for encoding sequence numbers, for measuring the number of lost packets in the network, in a certain number of bits specified by the operator, which allows the operator to obtain, for the number of lost packets in the network, an exact measure if the maximum time interval between the transmission of two consecutive packets is less than a certain threshold specified by the operator and out-of-order packets can be delayed of at most a certain number of positions specified by the operator.