

Progetto B1: Multicast totalmente e causalmente ordinato in Go

ALESSANDRO CHILLOTTI

Additional Key Words and Phrases: Go, Docker, Multicast, Peer

ACM Reference format:

Alessandro Chillotti. 2021. Progetto B1: Multicast totalmente e causalmente ordinato in Go. *ACM Trans. Graph.* 37, 4, Article 1 (October 2021), 5 pages. <https://doi.org/10.1145/1122445.1122456>

1 TRACCIA DEL PROGETTO

Lo scopo del progetto è realizzare nel linguaggio di programmazione Go un'applicazione distribuita che implementi gli algoritmi di multicast totalmente ordinato e causalmente ordinato.

L'applicazione deve soddisfare i requisiti elencati di seguito.

- Un servizio di registrazione dei processi che partecipano al gruppo di comunicazione multicast. Si assuma che la membership sia statica durante l'esecuzione dell'applicazione, quindi non vi sono processi che si aggiungono al gruppo od escono dal gruppo durante la comunicazione.
- Il supporto dei seguenti algoritmi di multicast:
 - (1) multicast totalmente ordinato implementato in modo centralizzato tramite un sequencer;
 - (2) multicast totalmente ordinato implementato in modo decentralizzato tramite l'uso di clock logici scalari;
 - (3) multicast causalmente ordinato implementato in modo decentralizzato tramite l'uso di clock logici vettoriali.

Si richiede di testare il funzionamento degli algoritmi implementati nel caso in cui vi è un solo processo che invia il messaggio di multicast e nel caso in cui molteplici processi contemporaneamente inviano un messaggio di multicast; tali test devono essere forniti nella consegna del progetto.

Per il debugging, si raccomanda di implementare un flag di tipo verbose, che permette di stampare informazioni di logging con i dettagli dei messaggi inviati e ricevuti. Inoltre, per effettuare il testing in condizioni di maggiore stress, si consiglia di includere nell'invio dei messaggi un parametro delay, che permette di specificare un ritardo, generato in modo random in un intervallo predefinito.

Si progetti l'applicazione ponendo particolare cura al soddisfacimento dei requisiti sopra elencati. Si richiede inoltre che gli eventuali parametri relativi all'applicazione e al suo deployment siano configurabili.

2 ASSUNZIONI

Le assunzioni che sono state fatte per realizzare questo applicativo sono:

- La comunicazione è affidabile, ovvero non è possibile che ci sia la presenza di messaggi persi;
- La comunicazione è FIFO ordered, ovvero se un processo p_i invia molteplici messaggi al processo p_j , quest'ultimo riceve i messaggi nello stesso identico ordine in cui p_i li ha inviati;
- È stato assunto un ritardo massimo nell'invio del messaggio pari a 3 secondi perché ritenuto realistico ed adatto allo scopo in questione. Questo ritardo non è altro che uno

sleep del processo mittente, quindi viene generato un numero pseudo-randomico fra 0 e 3 al momento dell'inoltro del messaggio.

3 SCELTE PROGETTUALI

In questa sezione sono presentate e motivate le scelte progettuali effettuate in fase di sviluppo dell'applicativo.

3.1 Consegna di un messaggio di multicast

Tipicamente gli algoritmi di multicast vengono eseguiti al livello del middleware e quindi un importante aspetto da considerare nell'implementazione degli algoritmi è sicuramente la consegna a livello applicativo. Infatti, si ha una sostanziale differenza fra i termini *ricezione* di un messaggio e *consegna* di un messaggio. In particolare:

- La *ricezione* riguarda la fase in cui il messaggio arriva al nodo desiderato.
- La *consegna* riguarda la fase in cui il messaggio viene consegnato all'applicazione al livello sovrastante.

Poiché gli algoritmi sono già eseguiti a livello applicativo, è stato scelto di simulare la consegna di un messaggio attraverso il salvataggio su un file poiché ritenuto semplice ed elegante. Inoltre, questa scelta ha permesso di utilizzare questo file come log del sistema.

3.1.1 Struttura del file di consegna. Il file di consegna è visto come una tabella con i seguenti campi:

- *Id*: questo è un campo speciale perché rappresenta l'oggetto con cui l'algoritmo lavora per mantenere l'ordinamento. In particolare, varia in base all'algoritmo selezionato:
 - Algoritmo 1: questo campo corrisponde all'id assegnato dal sequencer.
 - Algoritmo 2: questo campo corrisponde al valore del clock logico scalare del peer mittente, nel momento in cui invia il messaggio.
 - Algoritmo 3: questo campo corrisponde al valore del clock logico vettoriale del peer mittente, nel momento in cui invia il messaggio.
- *Timestamp*: questo campo rappresenta l'istante temporale in cui quel messaggio è stato inviato dal peer mittente.
- *Username*: questo campo rappresenta l'username con cui un peer si identifica¹.
- *Messaggio*: questo campo rappresenta il contenuto del pacchetto effettivo.

Con lo scopo di facilitare la comprensione della struttura del file di consegna, viene mostrato un esempio che rappresenta lo snapshot, ad uno specifico istante temporale, del file di consegna nel caso in cui si sta adottando l'algoritmo 1.

¹L'username è specificato in fase di registrazione.

Table 1. Esempio del file di consegna (Algoritmo 1)

<i>Id</i>	<i>Timestamp</i>	<i>Username</i>	<i>Messaggio</i>
1	12:59:32	peer_1	messaggio 1
2	13:02:17	peer_2	messaggio 2
3	13:05:27	peer_3	messaggio 3
4	13:08:17	peer_2	messaggio 4

3.2 Architetture

Per lo sviluppo degli algoritmi si è scelto di adottare due architetture differenti, in modo tale da poter scegliere di averne una più adatta in base all'algoritmo richiesto.

3.2.1 Scelte generali. Come descritto in precedenza, la consegna al livello applicativo è stata simulata con il salvataggio del contenuto del messaggio, più relativi metadati, in un file.

Il file risiede all'interno di volume *Docker* per ogni peer appartenente al gruppo multicast.

3.2.2 Architettura per l'algoritmo 1. L'architettura ideata per la realizzazione dell'algoritmo 1 è la seguente².

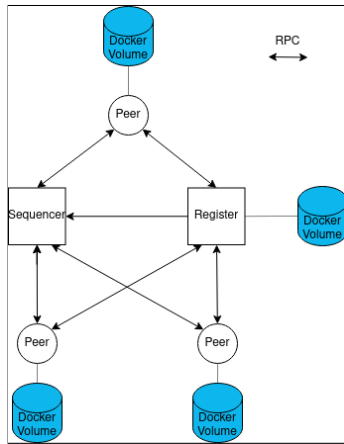


Fig. 1. Architettura algoritmo 1

Si può notare dalla figura che ad ogni peer è stato montato un volume Docker, nel quale è presente il file utilizzato per simulare la consegna del messaggio a livello applicativo.

Gli attori presenti nell'architettura sono:

- Il *peer* rappresenta un partecipante al gruppo di multicast. Ovviamente, per poter partecipare alla comunicazione si ha la necessità di eseguire una registrazione ad esso.
- Il *register* rappresenta il nodo che permette di:
 - Accettare le registrazioni dei peer finché non si raggiunge il numero di partecipanti stabilito al gruppo multicast.

²In figura è mostrata un'architettura con solamente 3 peer, ma questo è stato fatto solamente per semplificare l'architettura. Quindi, è possibile scegliere quale numero di peer far partecipare al gruppo multicast in fase di startup dell'applicazione.

- Inviare la lista dei peer partecipanti al gruppo ad ogni peer registrato.
- Il *sequencer* è il nodo che implementa l'algoritmo, assegnando un identificativo ad ogni pacchetto che permette di avere un ordinamento totale.

3.2.3 Architettura per gli algoritmi 2 e 3. L'architettura ideata per la realizzazione degli algoritmi 2 e 3 è la seguente².

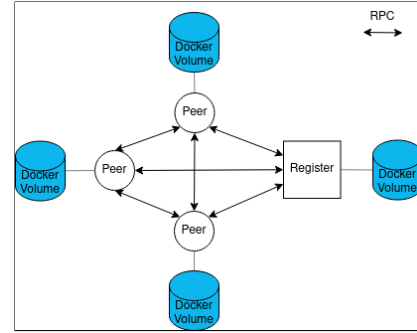


Fig. 2. Architettura algoritmi 2 e 3

Si può notare, come rispetto all'architettura precedente, non sia presente il *sequencer* poiché gli algoritmi 2 e 3 sono algoritmi realizzati in modo distribuito.

4 DETTAGLI IMPLEMENTATIVI GENERICI

In questa sezione saranno descritti i dettagli implementativi relativi all'organizzazione dei nodi all'interno dell'infrastruttura, senza entrare nello specifico per quanto riguarda la realizzazione degli algoritmi.

4.1 Orchestrazione dei container

Per l'orchestrazione dei container è stato utilizzato *Docker Compose*. In particolare, sono state fatte le seguenti scelte:

- È stata creata una rete virtuale per effettuare la comunicazione fra i diversi container up and running.
- È stato creato un profilo sequencer che permette di adattare l'istanziatura dell'infrastruttura in base all'algoritmo selezionato. In particolare, se viene scelto l'algoritmo numero 1, il sequencer verrà istanziato, altrimenti esso non farà parte della struttura dell'applicazione. Questo permette di avere un'infrastruttura flessibile, in grado di non utilizzare risorse non necessarie nel caso in cui si utilizzino algoritmi diversi dall'1.
- Sono state create delle variabili d'ambiente che permettono di avere dei parametri configurabili. In particolare, le variabili d'ambiente sono utilizzate per la scelta dell'algoritmo e per il numero di nodi partecipanti alla comunicazione multicast.

4.2 Istanziatura dei container

Per la gestione dell'istanziatura dei container è stato utilizzato *Docker* e l'immagine di base selezionata è *golang:1.16-alpine*

poiché ha una footprint minore rispetto, ad esempio, Ubuntu e contiene tutto ciò che è necessario per il supporto all'applicazione.

Vengono sfruttate le variabili d'ambiente specificate nella sottosezione precedente per essere importate nell'applicazione Go.

4.3 Struttura di un peer

Il peer è la figura più complessa che è stata gestita per la realizzazione di questo applicativo poiché, in base all'algoritmo da eseguire, esso ha dei compiti differenti.

È stata implementata una classe Peer che astrae e cattura le caratteristiche e le funzioni di base di un semplice peer, in modo tale da specializzare questi aspetti in base allo scenario in cui essi si trovano.

Le caratteristiche di base di un peer individuate sono:

- L'indice del processo³;
- L'indirizzo IP;
- Il numero di porta;
- L'username.

Le funzioni base di un peer sono:

- La registrazione all'interno del gruppo di multicast;
- La ricezione della lista dei nodi registrati e la ricezione, da parte del frontend, del messaggio da inoltrare nella rete.

Per gli altri "tipi" di peer sono state realizzate altre classi (i.e. strutture in Go) che vanno ad estendere la classe Peer appena descritte (i.e. la struttura Peer viene inglobata nelle nuove strutture). Ogni classe avrà i propri metodi, in modo tale che essi si adattino al miglior modo possibile all'algoritmo da realizzare.

Questo approccio ha permesso di avere un codice modulare che si adatta in base all'algoritmo richiesto poiché, nella fase di startup, è presente uno switch che ha il compito di individuare l'algoritmo da eseguire e di creare le corrette istanze dei peer.

4.4 Comunicazione fra i peer

I nodi, descritti nella sottosezione 3.2, comunicano fra loro attraverso il meccanismo di *Remote Procedure Call*. Per l'implementazione di RPC non è stato utilizzato gRPC, ma è stato usato il package "net/rpc" poiché l'applicativo è totalmente scritto in Go e quindi non si necessitava di una versatilità per quanto riguarda il linguaggio di programmazione.

4.4.1 Fase di registrazione. I peer, per poter comunicare fra loro, necessitano di completare una fase di registrazione. In questa fase vengono scambiate delle informazioni (i.e. indirizzo ip, username, numero di porta) con il nodo register. Quest'ultimo ha il compito di inviare queste informazioni a:

- Tutti i nodi registrati, in modo tale che ciascun peer può comunicare con gli altri peer secondo il protocollo stabilito.
- Nel caso dell'algoritmo 1, il Sequencer deve ricevere la lista dei partecipanti al gruppo multicast, in quanto deve avere a disposizione le informazioni per poter inoltrare i messaggi a tutti i peer registrati.

³Gli algoritmi si basano anche sull'indice numerico del processo nel momento in cui si verificano situazioni particolari, quindi questa è stata pensata come una caratteristica chiave di un peer.

4.4.2 Struttura di un pacchetto. Per la comunicazione e lo scambio di messaggi fra i vari peer è stata astratta la figura del pacchetto, ovvero è stata definita la seguente struttura dati.

```
1 type Packet struct {
2     Source_address string
3     Message         string
4     Timestamp       time.Time
5 }
```

Si può notare come si sia cercato di ridurre al minimo le informazioni contenute all'interno di questa struttura, in quanto sono presenti solamente i dati che cambiano ad ogni pacchetto (i.e. Message, Timestamp) o i dati necessari per la navigazione dell'oggetto in rete (i.e. Source_address).

Le altre informazioni importanti vengono ricavate nel momento in cui avviene l'inoltro e la gestione dei messaggi, infatti sono state definite due mappe che, dato un indirizzo ip, ricavano l'index del processo e il corrispettivo username.

4.5 Gestione delle connessioni

Per effettuare una pulita gestione delle connessioni rimaste aperte all'interno dell'applicazione è stato implementato un meccanismo di timeout. In particolare, dopo una certa quantità di secondi in cui non si ricevono messaggi, vengono chiuse le connessioni di tutti i peer e viene chiuso il processo dell'applicazione poiché si assume che la comunicazione sia terminata.

Il timer impostato varia in base al numero di peer partecipanti al gruppo multicast, in particolare si è scelto che per ogni peer si abbia un'attesa di 10 secondi. Quindi, se all'interno del gruppo multicast ci sono N peer, allora un peer prima di chiudere le connessioni e l'applicazione attenderà $10 \cdot N$ secondi.

4.5.1 Nodo register. È stato scelto un meccanismo simile per il nodo che permette le registrazioni, in quanto esso attende per $10 \cdot N$ secondi prima di chiudere la propria applicazione. Quindi, non rimane in attesa all'infinito per accettare richieste di registrazione, ma c'è un limite massimo di tempo per cui attende.

5 ALGORITMO 1

In fase di invio di un messaggio, il peer mittente prepara il Packet ed invia il messaggio al nodo Sequencer. A sua volta, il Sequencer targa il messaggio con un Id. Quindi, esso incapsula il Packet ricevuto all'interno di una struttura ad-hoc per mantenere il metadato relativo all'Id associato dal Sequencer.

L'idea adottata, per quanto riguarda un nodo ricevente, è la seguente:

- (1) Alla ricezione, il messaggio viene posto all'interno di un buffer (channel⁴).
- (2) In fase di consegna, viene scannerizzato ciclicamente il buffer finché non è presente il messaggio da inviare al livello applicativo.

⁴Questo canale è costituito da 20 componenti poiché sembra essere, considerando il seguente scenario, un numero infinitamente grande rispetto ai pacchetti che si possono bufferizzare.

6 ALGORITMO 2

In questo algoritmo, il peer invia un messaggio di update per comunicare con gli altri peer. Quindi, è stata creata una struttura Update che associa ad ogni Packet il relativo timestamp (i.e. int).

L'idea adottata per la ricezione e la consegna è simile a quanto descritto per l'algoritmo precedente.

6.1 Lista ordinati di messaggi di update

Uno dei punti chiave dell'implementazione dell'algoritmo 2 è sicuramente la realizzazione di una lista d'attesa dei messaggi di update ordinati in base al timestamp.

Per far fronte a questo aspetto, si è scelto di realizzare una lista collegata. Il punto chiave di questa implementazione è che l'inserimento in questa lista avviene in maniera ordinata, ovvero si scandisce la lista finché non si trova un nodo con timestamp maggiore del nodo candidato ad entrare e, dopo averlo trovato, si effettua l'inserimento nella posizione corretta.

È stato scelto questo approccio in modo tale da evitare di inserire randomicamente all'interno della lista un nodo e, a valle dell'inserimento, ordinare i componenti.

6.1.1 Struttura di un nodo della lista. Il nodo appartenente alla lista è la seguente struttura.

```
1 type Node struct {
2     Update Update
3     Next *Node
4     Ack int
5 }
```

Si può notare come l'Ack sia stato inserito come metadato del nodo, in modo tale da facilitare la gestione e l'implementazione della consegna dei pacchetti.

7 ALGORITMO 3

In questo algoritmo si è nuovamente fatto uso di un buffer per la memorizzazione dei pacchetti ricevuti ma non ancora consegnati, in quanto non si necessitava più di avere un ordinamento dei messaggi.

È stata creata la classe Vector Clock per astrarre il concetto di clock vettoriale e definire alcuni metodi base per la sua gestione. Quindi, ad ogni invio di un messaggio da parte di un peer, il messaggio di Update viene marcato con uno snapshot in quell'istante di tempo del clock logico vettoriale relativo al peer mittente.

L'idea adottata per la ricezione e la consegna è simile a quanto descritto per gli algoritmi precedenti.

8 PIATTAFORMA SOFTWARE

La piattaforma software con cui è stata realizzata l'applicazione è la seguente:

- Il sistema operativo è Ubuntu 20.04.3 LTS;
- Il linguaggio di programmazione utilizzato è Go;
- Per l'istanziamento di ogni nodo è stato utilizzato Docker;
- Per l'orchestrazione dei container è stato utilizzato Docker Compose.

Per eseguire l'applicativo si ha bisogno solamente di aver installato, all'interno della propria piattaforma software, Docker che permette

di istanziare l'applicazione e Go che permette di compilare il file di frontend.

8.1 Frontend

Per fare utilizzo degli algoritmi implementati è stato progettato un semplice frontend che permette di interagire con il container desiderato, così da poter far parte del gruppo multicast. Per realizzare questo oggetto sono state utilizzate le seguenti librerie:

- "github.com/docker/docker/api/types"
- "github.com/docker/docker/client"

Queste hanno permesso l'interazione con Docker per visualizzare i container up and running e per poter interagire con loro.

9 TESTING DELL'APPLICAZIONE

Per verificare il corretto comportamento degli algoritmi implementati sono stati ideati dei test. In particolare, per ogni algoritmo:

- Un test riguarda l'invio del messaggio di multicast da parte di un solo peer.
- Un test riguarda l'invio del messaggio di multicast, anche in modo concorrente, da parte di più peer.

9.1 Test per l'algoritmo 1

9.1.1 Un solo sender. In questa tipologia di test un peer invia sei messaggi, uno dopo l'altro in modo tale da rispettare l'assunzione FIFO ordered.

Il risultato atteso è che ogni peer consegna, nello stesso identico ordine, i messaggi ricevuti al livello applicativo.

9.1.2 Più sender. In questa tipologia di test ogni peer, in modo concorrente, invia un messaggio al sequencer e dopo aver inviato il primo messaggio, inoltra anche un secondo messaggio.

Il risultato atteso è che ogni peer consegna, nello stesso identico ordine, i messaggi ricevuti al livello applicativo.

9.2 Test per l'algoritmo 2

9.2.1 Un solo sender. In questa tipologia di test un peer invia sei messaggi, uno dopo l'altro in modo tale da rispettare l'assunzione FIFO ordered.

Il risultato atteso è che nessun peer consegna messaggi a livello applicativo, in quanto non viene mai rispettata la condizione di consegna poiché è solamente un peer ad effettuare l'inoltro del messaggio in multicast.

9.2.2 Più sender. In questa tipologia di test ogni peer, in modo concorrente, invia un messaggio al sequencer e dopo aver inviato il primo messaggio, inoltra anche un secondo messaggio.

Il risultato atteso è che i primi N messaggi consegnati al livello applicativo da ciascun peer siano i medesimi, dove N è il numero minimo di messaggi consegnati dai peer.

9.3 Test per l'algoritmo 3

9.3.1 Un solo sender. In questa tipologia di test un peer invia sei messaggi, uno dopo l'altro in modo tale da rispettare l'assunzione FIFO ordered.

Il risultato atteso è che ogni peer consegna, nello stesso identico ordine, i messaggi ricevuti al livello applicativo poiché, essendo un solo sender, non c'è relazione di causa-effetto fra i messaggi.

9.3.2 Più sender. In questa tipologia di test si è seguito uno schema ben preciso per avere un test valido dal punto di vista della verifica. Lo schema è rappresentato nella seguente figura.

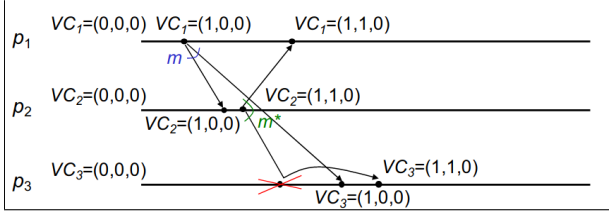


Fig. 3. Test per l'algoritmo 3

In particolare, lo scenario è il seguente:

- Il peer p_1 invia un messaggio con timestamp $(1, 0, 0)$ in multicast. Questo messaggio viene ricevuto dal peer p_2 , ma a causa di un ritardo non viene ricevuto subito dal peer p_3 .
- Il peer p_2 , a causa del messaggio ricevuto, inoltra un messaggio in multicast con timestamp $(1, 1, 0)$. Questo messaggio viene ricevuto da entrambi i peer senza ritardi.
- Il peer p_3 , al momento della ricezione del messaggio inviato da p_2 , deve posticipare la consegna del messaggio con timestamp $(1, 1, 0)$. Una volta ricevuto e consegnato il messaggio con timestamp $(1, 0, 0)$, può procedere con la consegna del messaggio inviato da p_2 .

Il risultato atteso è che tutti i peer consegnino i messaggi rispettando la relazione di causa-effetto. Quindi, in questo caso significa che ogni peer consegna, nello stesso ordine, i due messaggi al livello applicativo.

10 UTILIZZO DELL'APPLICAZIONE

È possibile consultare la documentazione che permette di leggere la guida su come istanziare ed eseguire l'applicazione al [link](#) che porta alla repository del progetto.