



Corso di Laurea in Informatica

PROGETTO ESAME CORSO LABORATORIO II

”Il Paroliere” videogioco online scritto in C, multi-threaded,
CLI, POSIX, client/server

Professori:

Patrizio Dazi, Luca Ferrucci

Candidato:

Giulio Nisi

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

Indice

Note	1
1 Strutture dati ed algoritmi	2
1.1 Server	2
1.1.1 Lista giocatori	2
1.1.2 Matrice di gioco	2
1.1.3 Parole e dizionario	3
1.1.4 Algoritmo di ricerca	3
1.1.5 Coda di fine gioco	4
1.2 Client	5
2 Struttura codice	6
3 Struttura programmi	8
3.1 Server e client in comune	8
3.1.1 Funzioni comuni	8
3.1.2 Funzioni comuni ma con differente implementazione	8
3.1.3 Gestione segnali	9
3.2 Server	9
3.2.1 Thread main acceptClient()	9
3.2.2 Thread clientHandler()	9
3.2.3 Thread signalsThread()	10
3.2.4 Threads scorer() e gamePauseAndNewGame()	11
3.3 Client	11
3.3.1 Thread main inputHandler()	13
3.3.2 Thread responsesHandler()	13
3.3.3 Thread disconnecterCheckerThread()	13

4	Struttura tests	15
5	Compilazione ed esecuzione	17
6	Miscellanea	18

Note

Si consiglia la lettura del codice in caso di necessità, in quanto, é stato molto commentato, forse piú del necessario e quindi potrebbe risultare piú chiaro di tale relazione riassuntiva. Il codice é scritto in inglese per essere compreso potenzialmente da un pubblico piú ampio e pubblicato su [GitHub](#). Tuttavia, per ottemperanza alle richieste, le specifiche scritte nel testo del progetto sono tutte rispettate in italiano, ad esempio, il client accetta anche i comandi in italiano (oltre a quelli in inglese), ed entrambe gli eseguibili gestiscono gli argomenti passati da riga di comando italiani (oltre a quelli in inglese). Il codice é stato sviluppato su macOS (Sonoma 14.5) (Darwin Kernel Version 23.5.0) (sfruttando le chiamate POISX supportate) e testato sulla macchina di laboratorio (laboratorio2.di.unipi.it).

”Scrivete programmi che facciano una cosa e che la facciano bene. Scrivete programmi che funzionino insieme. Scrivete programmi che gestiscano flussi di testo, perché quella é un’interfaccia universale.”

*Peter H. Salus, A Quarter Century of
Unix, Unix philosophy.*

1. Strutture dati ed algoritmi

1.1 Server

1.1.1 Lista giocatori

La struttura dati principale adottata per la gestione dei clients/giocatori, é una lista concatenata di elementi con una struttura e puntatore al prossimo elemento della lista. É stata scelta per:

- Possibilit  di gestire potenzialmente infiniti giocatori, risorse computazionali permettendo.
- Allocazione dinamica on demand che permette di sprecare poca memoria (non pre-allocandola) quando i giocatori si scollegano (la memoria viene liberata), o sono assenti.
- Tutte le operazioni riguardanti un solo determinato client possono essere svolte dal relativo thread attraverso il puntatore alla struttura rappresentante suddetto giocatore e qui si hanno tutte le sue informazioni che potrebbero servire.

Lo svantaggio sostanziale é che talvolta dobbiamo scorrere interamente la lista sincronizzandoci opportunamente con particolare attenzione, perch , in caso contrario, a differenza di un array per esempio, potrebbero verificarsi problemi molto pi  gravi in certe fasi, come nell'aggiunta o rimozione di elementi (potremmo avere dei leaks ad esempio). Per sincronizzarsi si utilizza (ma non   l'unico) "listmutex".

Tale lista   condivisa tra clients registrati e non.

1.1.2 Matrice di gioco

La matrice di gioco, avendo dimensione predeterminata alla compilazione e costante   allocata staticamente globalmente (in "server.h") come matrice di caratteri ("char[][]"). Il

'Qu' viene salvato come 'Q', ma gestito opportunamente contandolo come singolo carattere.

1.1.3 Parole e dizionario

Le parole del file dizionario sono memorizzate in un array "words" di stringhe ("char**") allocato dinamicamente, sia l'array, che le stringhe stesse. Le parole sono caricate tutte in memoria, leggendo il file, solo una volta inizialmente, limitando l'impatto delle costose operazioni di I/O con il disco. Vi é poi una copia di "words", "words_valid", allocata in memoria, dinamicamente, però, NON riallocando le stringhe sprecano inutilmente altra memoria, ma semplicemente copiando i puntatori da "words". Ad ogni inizio nuovo gioco, contestualmente al cambio della matrice di gioco, i puntatori alle stringhe di "words_valid" vengono aggiornati, quelli delle parole presenti nella nuova matrice (trovate con l'algoritmo che segue), rimangono invariati (copiati da "words"), mentre quelli delle parole NON presenti, vengono incrementati fino a raggiungere il terminatore ("\\0") di stringa. Vi é poi un'altra copia di "words_valid", "words_validated", allocata identicamente, per ogni giocatore REGISTRATO, il cui puntatore si trova nella struttura rappresentate tale giocatore. Quando una parola valida (presente in "words_valid" E in "words_validated") viene sottomessa da un utente registrato, per la PRIMA volta in questo gioco, "words_validated" viene aggiornato, incrementandone il puntatore fino al terminatore, cosíché ad una nuova sua sottomissione della medesima parola nello stesso gioco, essa possa essere rifiutata senza attribuirne nuovamente il punteggio al player.

1.1.4 Algoritmo di ricerca

Per gestire la ricerca delle parole si é scelto di utilizzare il seguente algoritmo. Ad ogni cambio della matrice di gioco, per ogni parola del file dizionario caricata in memoria, viene visitata tutta la matrice di gioco e per ogni suo carattere (della matrice) invocata la funzione "searchWordInMatrix()", la quale parte dal carattere della matrice specificato

(con indici i di riga e j di colonna della corrente iterazione) e ricorsivamente controlla che i caratteri adiacenti $[(i, j+1), (i+1, j), (i, j-1), (i-1, j)]$ nella matrice siano corrispondenti al prossimo carattere di parola cercato. Se non vi é corrispondenza, o i o j sono fuori dal range di grandezza della matrice, si ritorna un fallimento, altrimenti, se il prossimo carattere di parola voluto é identico al terminatore di stringa, allora significa che precedentemente abbiamo trovato tutte le lettere disposte adiacentemente e quindi ritorniamo un successo. Bisogna prestare attenzione a "marcare" i caratteri già visitanti per evitare di poter utilizzare più volte lo stesso carattere della matrice nella composizione di una parola o di perdersi in loop infiniti, nelle chiamate ricorsive successive di funzione. Per quanto riguarda la complessità? Vediamo un esempio. Per semplicità assumiamo di avere M , una matrice $N \times N$ (utilizzando sempre matrici quadrate), di avere K parole sul file dizionario, e di avere una parola W , da cercare, in input, ossia verificarne la presenza nella lista delle parole E nella matrice corrente di gioco. Con la predetta soluzione, dopo aver letto dal file dizionario le parole ed averle inserite in "words", si dovrà riempire "words_valid" (solo una volta ad ogni inizio gioco), scorreremo quindi "words" in K passi, ad ogni passo iteriamo su M effettuando $N \cdot N$ passi, invocando ad ognuno, "searchWordInMatrix()", la quale per trovare la parola al massimo effettuerà proprio altri $N \cdot N$ passi che rappresentano la parola di lunghezza massima che si può trovare nella matrice.

Quindi ricapitolando paghiamo $K \cdot N \cdot N \cdot N \cdot N = N^4 K$ la prima volta, a seguire, ogni parola cercata da un giocatore comporterà solamente la ricerca in "words_valid" (ed il controllo in "words_validated", ma questo si farà ad accesso diretto se trovata, dato che gli array sono allineati) con costo K . In conclusione, credo sia una discreta implementazione, che sfrutta la potenza dell'aritmetica dei puntatori, le stringhe sono effettivamente in memoria solo una volta e a fronte di un costo iniziale più elevato permette di rispondere più velocemente a seguire ai giocatori.

1.1.5 Coda di fine gioco

Per la struttura del progetto vista, la coda richiesta dalle specifiche, non sarebbe stata necessaria, anzi é risultata un'inutile complicazione. Sarebbe stato sufficiente sbloccare i

threads dei clients e segnalarli di inviare il messaggio di fine gioco con la scoreboard al client gestito. Ogni thread avrebbe potuto inviare il messaggio utilizzando il puntatore alla struttura del giocatore in possesso che fornisce già tutte le sue informazioni necessarie. Comunque per aderenza alle richieste, la coda é stata utilizzata. Essa é stata implementata come lista concatenata, ogni elemento é una struttura contenente un puntatore al corrispondente client, un puntatore ad un messaggio (con struttura come richiesta) contenente nel campo "data", il nome del client (se registrato, un placeholder altrimenti) ed il punteggio ottenuto nel gioco separati con una virgola, ed infine un puntatore all'elemento successivo. Per la sincronizzazione viene utilizzato (ma non é l'unico) "queuemutex".

1.2 Client

Nel client vengono utilizzate due liste allocate dinamicamente. La prima di una struttura contenente stringhe, dove ogni stringa ha una lunghezza massima "BUFFER_SIZE". La seconda di una struttura contenente messaggi che rappresentano le risposte ricevute dal server. Per sapere il peculiare motivo di queste fare riferimento alle pagine seguenti. Nessun particolare algoritmo é utilizzato, se non lo scorrimento delle liste.

2. Struttura codice

Il codice si trova tutto nella cartella `"/Src/"` (sources). Suddiviso in quattro sottocartelle `"/Server/"`, `"/Client/"`, `"/Tests/"` e `"/Common/"`. Le dipendenze sono le seguenti:

`"/Bin/boggle_server"` (`"/paroliere_srv"`) eseguibile dipende da `"/Src/Server/boggle_server.c"`, `"/Src/Server/server.c"`, `"/Src/Common/common.c"`.

`"/Bin/boggle_client"` (`"/paroliere_cl"`) eseguibile dipende da `"/Src/Client/boggle_client.c"`, `"/Src/Client/client.c"`, `"/Src/Common/common.c"`.

`"/Bin/boggle_tests"` (`"/paroliere_tests"`) eseguibile dipende da `"/Src/Tests/boggle_tests.c"` e `"/Src/Common/common.c"`.

`"boggle_server.c"`, `"server.c"` dipendono da `"server.h"`.

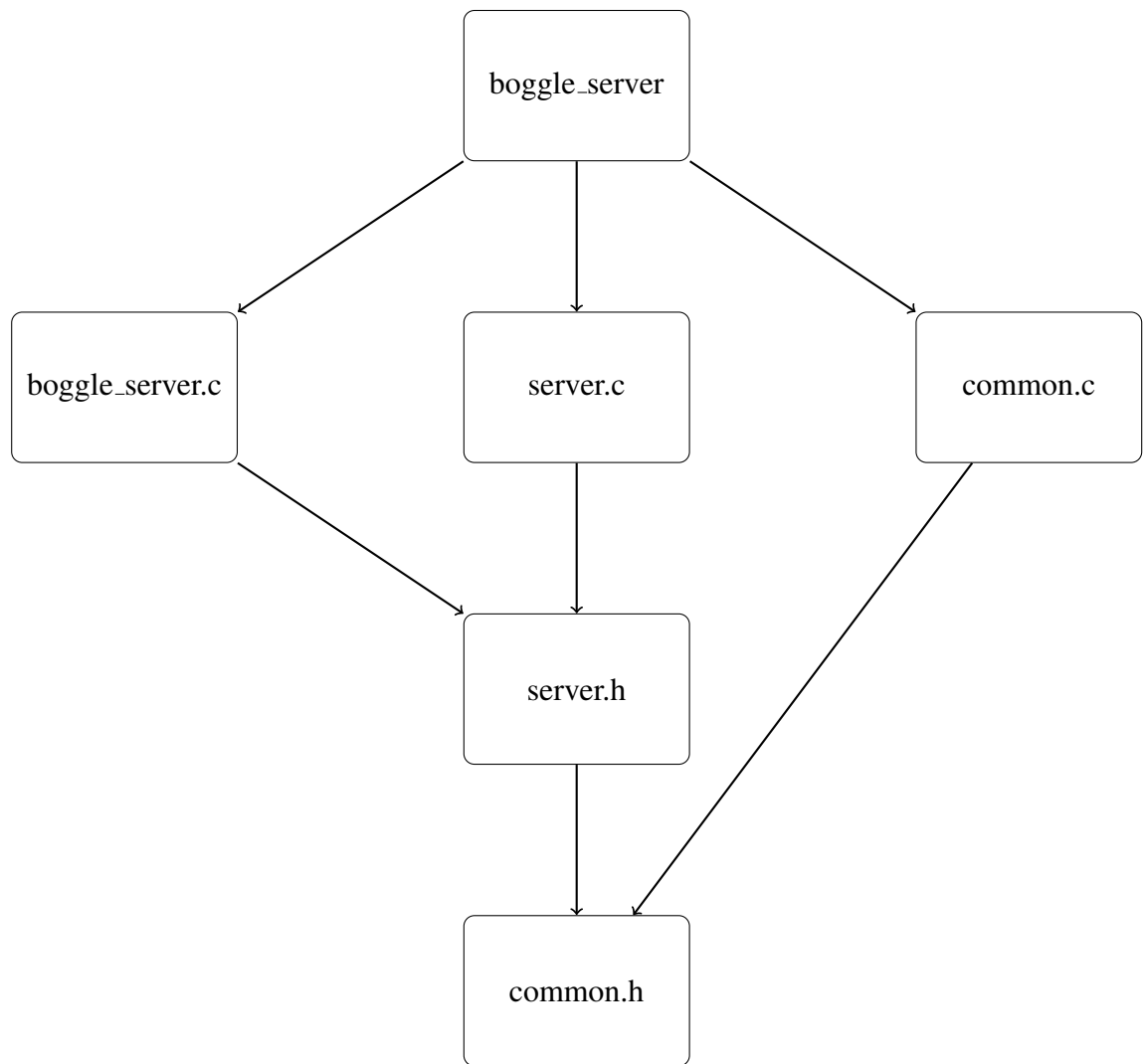
`"boggle_client.c"`, `"client.c"` dipendono da `"client.h"`.

`"server.h"`, `"client.h"` dipendono da `"common.h"`.

`"common.c"` dipende da `"common.h"`.

Si noti che `"common.h"` e `"common.c"` includono librerie, dichiarazioni ed implementazioni comuni a server, client e C tests. `"boggle_server.c"` e `"boggle_client.c"` contengono solamente i setup e lo scheletro del loro funzionamento. L'effettiva complessa e sostanziale implementazione é demandata rispettivamente ai `"server.c"` e `"client.c"` files. `"server.h"` contiene le dichiarazioni di funzioni e le strutture dati condivise tra `"boggle_server.c"` e `"server.c"`. Similmente per il client.

A seguire un diagramma (o grafo) delle dipendenze per il server. Quello del client é analogo.



I files eseguibili (ed oggetto) si trovano nella cartella `"/Bin"` e sono compilati qua, alla fine copiati da make nella root del progetto con alias `"/paroliere_srv"`, `"/paroliere_cl"` e `"/paroliere_tests"`.

I files dizionario si trovano in `"/Data/Dicts/"`.

I files matrici si trovano in `"/Data/Matrices/"`.

Tutto il materiale di tests and debug si trova in `"/Tests/"`.

Vi é una cartella `"/Studies/"`. Contiene degli snippets di codice per fare prove e tests usati per assicurarsi del funzionamento di alcune meccaniche prima di implementarle nel progetto per ridurre il rischio di introdurre tediosi bugs.

3. Struttura programmi

3.1 Server e client in comune

3.1.1 Funzioni comuni

Il server, il client ed i tests condividono librerie utilizzate e codice per delle funzionalità richieste comuni grazie ai files "common.h" e "common.c".

Enunciamo sinteticamente le funzioni condivise. Abbiamo una funzione per fare il parsing dell'IP ottenuto dalla riga di comando, una per trasformare le stringhe in UPPERCASE o lowercase, le fondamentali "receiveMessage()" e "sendMessage()" che servono a scambiarsi i messaggi tra server e client, una funzione "destroyMessage()" per deallocare tali messaggi, una funzione "createBanner()" che crea delle stringhe carine da stampare per suddividere l'output e facilitarne la lettura. C'è la funzione "disconnecterChecker()" che si occupa di inviare un messaggio di "ping" al client/server per riconoscere e gestire disconnessione del socket. Per concludere vi è la funzione "itoa()" che converte un numero nella stringa di caratteri che lo rappresenta. Tali funzioni sono identiche in server, client e tests. Vi è poi la definizione comune di un mutex "printmutex" utilizzato per stampare messaggi composti da chiamate differenti alla funzione "fprintf()" avendo la garanzia che nel mezzo non si interpongano stampe provenienti da altri threads.

3.1.2 Funzioni comuni ma con differente implementazione

Client e server condividono il possedere un thread dedicato alla gestione dei segnali ricevuti. L'implementazione del thread differisce leggermente tra i due, poiché il server aveva la necessità di gestire il SIGALRM in modo sostanzioso (perché usato per terminare il gioco), che il client non doveva.

3.1.3 Gestione segnali

Come anticipato, vi é un thread dedicato alla gestione dei segnali. Questo intercetta i segnali ricevuti da gestire, attraverso un loop, con una "sigwait()". Inizialmente lo sviluppo é stato fatto con la registrazione dei signals handlers, ma questo esponeva ad innumerevoli difficoltà dovute al fatto che il segnale può finire ad un thread casuale e soprattutto che nel suo gestore, si é costretti ad utilizzare un numero estremamente ridotto di funzioni che devono avere la caratteristica di essere async-signal-safe. Con l'uso di un thread dedicato e della "sigwait()" invece sappiamo già il thread che riceverá il segnale e possiamo gestirlo liberamente senza preoccuparci di alcuno stato.

3.2 Server

3.2.1 Thread main acceptClient()

Il server, dopo un'iniziale fase di setup, con controllo degli argomenti ricevuti da riga di comando, avvio e configurazione del thread per la gestione dei segnali, registrazione del gestore dell'unico segnale (SIGUSR1) non gestito dal predetto thread, caricamento del file dizionario e matrici (se presente), apre un socket, si mette in ascolto su IP e porta ricevuti da riga di comando, avvia il primo gioco (impostando un timer di fine partita con la chiamata "alarm()") e si mette ad accettare clients indefinitamente in un "while(1)". All'arrivo di un client (connessione), lo accetta, inizializza un nuovo elemento della lista clients, aggiungendolo a tale lista (con dovute sincronizzazioni) ed infine avvia un thread ("clientHandler()") dedicato alla gestione del giocatore, passandogli come argomento il puntatore alla propria struttura dati aggiunta alla lista.

3.2.2 Thread clientHandler()

Il neoavviato thread si mette in un loop "while(1)" ad attendere la ricezione di un messaggio dal client attraverso la funzione "receiveMessage()", che al suo interno utilizza la chiamata "read()", per leggere le varie componenti del messaggio dal socket utente. Al-

l'arrivo di un messaggio COMPLETO tenta di acquisire il proprio mutex. Ogni client, infatti, all'interno della propria struttura dati, ha anche un suo personale mutex "handlerequest", che acquisisce durante l'elaborazione di un messaggio ricevuto, per poi rilasciarlo al termine. Tale mutex é posto DOPO la lettura del messaggio, ma PRIMA della sua elaborazione e permette al seguente "signalsThread()" thread di aspettare che tutte le richieste ricevute siano elaborate prima di terminare il gioco.

3.2.3 Thread signalsThread()

Quando il tempo di gioco termina, si riceve un segnale SIGALRM che verrà intercettato da questo thread gestore segnali ed inizierà la fase più complessa del progetto. Sincronizzandosi opportunamente bloccherà tutti i threads "clientHandler()" acquisendo ciascun loro mutex "handlerequest" dopo che avranno elaborato i messaggi ricevuti. Se non dovesse riuscire ad acquisirne uno, ritenterà. In questo modo si é scelto di dare la priorità al thread "clientHandler()" che sta gestendo un messaggio, questo ci garantisce la piacevole proprietà che tutte le richieste ricevute PRIMA dello scadere del timer siano processate come é giusto che sia. A seguire, il thread "signalsThread()" abilita la pausa, modificando una variabile globale "pauseon", che in seguito istruirà i "clientHandler()" threads di rispondere alle richieste di conseguenza (siamo in pausa). Ad ognuno di questi threads da parte del "signalsHandler()" che sta gestendo il SIGALRM verrà inviato il segnale SIGUSR1 per il quale nel main era stato registrato un handler (questo segnale NON é gestito dal "signalsThread()" thread, ma ogni "clientHandler()" thread lo riceverà e gestirà). Lo scopo di questa azione é interrompere eventuali "read()" sulle quali il "clientHandler()" si dovesse trovare, perché adesso (dopo esser stati sbloccati dal "signalsHandler()" thread con il rilascio del proprio mutex "handlerequest") i "clientHandler()" threads dovranno riempire la coda con i messaggi contenenti il nome e punteggio del giocatore nel campo "data" con le dovute sincronizzazioni (usando il "queuemutex"). Quando la coda sarà stata riempita, il "signalsThread()" thread avvierà il thread "scorer()" che stilerà la classifica finale recuperando i messaggi dalla coda ed ordinandoli per punteggio discendente con una chiamata "qsort()", creando la CSV scoreboard in formato stringa "nomeutente,puntiutente". Al termine del "scorer()" thread, il "signalsThread()" che lo avrà aspettato con una join,

ribloccherà tutti i "clientHandler()" threads (sempre acquisendo ciascun loro mutex "handlerequest" scorrendo la lista giocatori), li comunicherà che la scoreboard CSV é pronta e loro (i "clientHandler()" threads), dopo esser stati tutti liberati, invieranno la scoreboard ai propri (corrispettivi) utenti gestiti con un messaggio di tipo "MSG_PUNTI_FINALI". A questo punto, "signalsThread()" non dovrà far altro che avviare il thread "gamePauseAndNewGame()" (poi tornerà a gestire altri eventuali segnali) che eseguirà una "sleep()" di durata della pausa. Nel frattempo, ovviamente, tutti i "clientHandler()" threads saranno liberi di operare rispondendo liberamente alle richieste dei giocatori (tenendo conto che la pausa é stata abilitata). Al termine della "sleep()", "gamePauseAndNewGame()" thread, bloccherà nuovamente tutti i "clientHandler()" threads acquisendo "handlerequest" mutex, disabiliterà la pausa, imposterà una nuova matrice di gioco (dal file o causale), aggiornerà il "words_validated" array cercando tutte le parole del dizionario nella nuova matrice, imposterà di conseguenza il "words_validated" di ciascun giocatore resettandogli anche il punteggio ed infine avvierà un nuovo gioco (nuova chiamata ad "alarm()").

3.2.4 Threads scorer() e gamePauseAndNewGame()

Questi threads sono solo di supporto, la loro spiegazione é nella sottosezione precedente ("signalsThread()").

3.3 Client

L'idea fondamentale sulla quale si é basato lo sviluppo del client é stata la semplicità. Ho deciso intenzionalmente di demandare tutta la complessità al server. Per far sí che il client si limiti solamente ad inviare richieste al server e stamparne le risposte. Tutti i comandi vengono inviati al server, ad eccezione di "fine". Lo sviluppo del client é stato sorprendentemente quasi piú arduo di quello del server. Un primo problema affrontato é stato il non sapere anticipatamente la grandezza dell'input dell'utente. Non vi sono infatti limitazioni sulla lunghezza della parola da sottomettere o del nome utente da registrare. Per poter gestire input di arbitraria dimensione si leggono "BUFFER_SIZE" caratteri dallo STDIN con una "read()", essi vengono inseriti in un "char s[BUFFER_SIZE]" statico,

all'interno di una lista (allocata dinamicamente) concatenata di stringhe. Scegliendo così un "BUFFER_SIZE" adeguato allocheremo sempre la dimensione di memoria che più si avvicina alla grandezza dell'input dell'utente, evitando di preallocare tanta memoria inutilmente che poi comunque se allocata staticamente potrebbe terminare (in caso di input utente grandi), con una lista di stringhe si ovvia a questo problema.

Un altro concetto chiave su cui mi sono concentrato è stato la pulizia della stampa delle risposte del server e la successiva stampa (e gestione degli input) del prompt. Nello specifico, il problema è stato che quando viene ricevuta e stampata una risposta dal server, l'utente potrebbe essere nel mezzo di una digitazione e aver già inserito dei caratteri nel buffer STDIN. Per vedere il problema si può guardare il codice nel file `"/Studies/C/ClientInputOutputSync/brokeninputoutput.c"`. Ho individuato due modi per affrontare tale fastidio:

- Prevenirlo. Sviluppando il client come un singolo thread, che attende che l'utente completi l'input (premendo ENTER, che tramite '\n' interrompe la "read()"), poi esegue l'input ed infine controlla se ci sono risposte del server da stampare e ricomincia il ciclo. Oppure, sviluppare il client come multithread e sincronizzare il thread che gestisce l'input con quello che stampa le risposte del server. Entrambe le soluzioni, hanno lo stesso difetto: la "read()" deve essere obbligatoriamente bloccante, per essere sicuri di leggere l'intero buffer STDIN.
- Risolverlo, lasciando che il buffer STDIN possa "sporcarsi" e pulirlo quando necessario. Sembra semplice, ma non lo è, ho trovato solo metodi non funzionanti su internet.

Dopo aver scelto la seconda opzione ed aver svolto innumerevoli tentativi sono riuscito a risolvere il problema in modo semplice, ricorrendo a due librerie, ma senza doverne fare un uso estensivo. Ho utilizzato "termios", vedere `"/Studies/C/ClientInputOutputSync/termiostests.c"` e "fcntl". Le due librerie citate servono solo a rendere la "getchar()" non bloccante e permettermi di pulire l'STDIN.

Per approfondire vedere `"/Studies/C/ClientInputOutputSync/inputoutputasynctests.c"`.

3.3.1 Thread main inputHandler()

Il client, dopo un'iniziale fase di setup, con controllo degli argomenti ricevuti da riga di comando, avvio e configurazione del thread per la gestione dei segnali, si collega al server con IP e porta ricevuti da riga di comando e si occupa della gestione dell'input utente e la stampa delle risposte del server (quest'ultime vengono lette da una lista messaggi). Interrompo la "read()" molto spesso e controllo se ci sono risposte del server in lista, in caso affermativo, le stampo, ripulisco lo STDIN con una "getchar()" NON BLOCCANTE, svuoto la lista e ritorno al prompt pulito, in modo che se l'utente dovesse aver digitato qualcosa di incompleto possa riscriverlo e/o modificarlo (a seguito della risposta ricevuta e visualizzata). Invece, se non ci sono risposte dal server in lista, la "read()" riprende con lo STDIN inserito dall'utente che non si accorge di nulla. L'unico svantaggio è che le stampe delle risposte del server non avvengono in modo asincrono, si ottiene un effetto simile per l'utente, perché la "read()" viene interrotta ogni pochi millisecondi per stampare le risposte del server.

3.3.2 Thread responsesHandler()

La ricezione delle risposte e l'inserimento in lista invece è eseguita da questo thread ad-hoc e quindi è totalmente asincrono. Questo thread legge le risposte del server dal socket e le inserisce in lista messaggi. Si sincronizza con il precedente mediante il mutex "listmutex". La scoreboard CSV di fine gioco ricevuta dal server, viene elaborata e stampata in un formato visualmente gradevole.

3.3.3 Thread disconnecterCheckerThread()

Questo thread richiama la funzione comune (condivisa con il server) disconnecterChecker() periodicamente in un while(1). Tale azione non poteva essere svolta dai precedenti thread (come nel server) Questo perché il mainthread attende l'input dell'utente e quindi è necessario interrompergli la "read()" molto spesso, e ciò chiamerebbe questa funzione troppe volte, riempiendo il server di messaggi inutili. Il responseshandlerthread, invece, attende le risposte del server, quindi il suo tempo di attesa è indefinito. Quindi questa

funzione viene eseguita in un thread dedicato, ed esegue il `disconnecterChecker()` ogni secondo.

4. Struttura tests

Inizialmente l'idea era di scrivere degli unit tests. Nello specifico cercare di rendere il progetto il più modulare possibile attraverso la scrittura di funzioni separate e testarne input ed output man a mano che si progrediva nello sviluppo. Ho intrapreso questa strada, testimone il fatto che nella cartella `"/Tests/C/"` ho lasciato il file `"tests.c"`, il quale funziona, si può compilare ed eseguire. Tuttavia, con l'avanzare dello sviluppo, mi sono reso conto che per come ho strutturato il progetto era disastroso. Avrei potuto testare poche singole funzioni ma non ad un livello soddisfacente nell'insieme. Complice il fatto di avere i codici divisi in più file ed di aver utilizzato per molte funzionalità variabili globali condivise. Allora, ho guardato qualche framework di testing in C, ma non ho trovato nulla che facesse al caso mio. Alla fine, ho pensato di fare i tests in modo esterno, pensando che forse questo approccio era proprio quello voluto per sondare altri argomenti trattati nel corso. Ho così creato un programma distinto che creasse tanti processi client, simulando proprio il comportamento di utenti ed interazioni con il server su larga scala. Ha funzionato benissimo! Ad ogni modo credo sia stato didatticamente utile perché ho dovuto maneggiare descrittori, files, pipes e segnali. In questo modo ho potuto eseguire moltissimi tests che sono stati vitali e mi hanno permesso di correggere innumerevoli bugs che con pochi clients (testati manualmente) non si verificano, soprattutto sviste con la memoria. Per eseguire questi tests è sufficiente:

1. Avviare il server con i parametri desiderati.
2. Dalla root del progetto, dopo aver compilato con `"make"`, eseguire `"/paroliere_tests server_ip porta_server"`. Oppure `"make tests"` per utilizzare IP e porta default.

Ci sono alcuni parametri all'inizio del file che possono essere modificati se voluto. Il file crea tantissimi processi client e per ognuno di essi svolge un numero di azioni che possono essere esattamente tutte quelle che un vero utente potrebbe eseguire. Inviare comandi non validi, registrarsi, richiedere la matrice, sottomettere una parola, di quelle valide e non valide, uscire e persino disconnettersi forzatamente. Tutto viene svolto casualmente con

un intensivo uso di random (ma comunque replicabile tramite seed). Tra ogni azione si aspetta un numero casuale di millisecondi per aumentare l'entropia nelle sincronizzazioni. I comandi vengono sottomessi, creando il processo client con una chiamata "fork()", collegandosi tramite pipe al suo STDIN. L'input inviato (comandi spediti al server) e l'output ricevuto (le risposte che il client ha ricevuto dal server) vengono salvati in dei file di logs in `"/Tests/C/Logs/"`.

5. Compilazione ed esecuzione

Il codice può essere compilato dalla root del progetto.

Valgono i seguenti targets (phony):

- `make` = Compila tutto: client, server e C tests.
- `make execs` = Compila ed esegue il server, con gli argomenti di default (si veda il `"/Makefile"`).
- `make execc` = Compila ed esegue il client, con gli argomenti di default (si veda il `"/Makefile"`).
- `make tests` = Compila ed esegue i C tests, con gli argomenti di default (si veda il `"/Makefile"`).
- `make clean` = Rimuove tutti i files oggetto, files eseguibili, files di logs dei C tests e termina forzatamente tutti gli eventuali processi in esecuzione di server, client e C tests.

Ovviamente oltre a questi nel `"/Makefile"` è scritto tutto l'albero delle dipendenze ed è quindi possibile invocare `"make"` con il target file desiderato.

L'utilizzo degli eseguibili si può svolgere facendo riferimento al seguente formato:

Server Usage: `./paroliere_srv server_ip server_port [--matrices matrices_filepath] [--duration game_duration_in_minutes] [--seed rnd_seed] [--dic dictionary_filepath]`.

Client Usage: `./paroliere_cl server_ip server_port`.

Tests Usage: `./paroliere_tests server_ip server_port`.

ATTENZIONE: L'utilizzo di alcuni percorsi assoluti hard-coded (ad esempio il percorso del file dizionario di default quando non specificato da CLI) assume che la **WORKING DIRECTORY** sia la **ROOT** del progetto. Quindi NON FARE MAI cose del tipo `"cd Bin/"` and `"/qualcosa"`.

6. Miscellanea

Le funzionalità di cui sono piú orgoglioso:

- Il server può far giocare potenzialmente infiniti giocatori.
- La matrice di gioco può essere $N \times N$ di dimensione arbitraria.
- Le parole del gioco possono avere lunghezza arbitraria.
- L'input dell'utente nel client può essere di lunghezza arbitraria (parole sottomesse e lunghezza nickname di registrazione).
- Le stampe nel client sono ben strutturate, la GUI non mostra mai stampe incoerenti.
- I tests eseguiti mostrano una buona resa e stabilità di server e client.
- Il client é semplice poiché il grosso del lavoro lo esegue il server.
- Il server (e quindi l'intero gioco é abbastanza sicuro) perché vengono eseguiti tutti i controlli server-side, nessuno dei quali é demandato al client. Quindi anche se qualcuno si collegasse malevolmente al socket server non usando il client non potrebbe far danni.

Tutta la sincronizzazione é stata volutamente fatta solamente tramite mutex, dove talvolta le variabili di condizione o i semafori si sarebbero potuti utilizzare, per cercare di rendere il codice piú semplice ed intuitivo possibile, seppur abbia ancora le sue complessità.

Le parole, indipendentemente da come arrivino dal client e da come siano scritte nei file dizionario vengono convertite in UPPERCASE dal server. Anche i caratteri componenti la matrice di gioco sono gestiti esclusivamente in UPPERCASE, sia nella generazione casuale, sia nella lettura da file (se scritte in lowercase in quest'ultimo vengono convertite in UPPERCASE). Gli unici caratteri ammessi per le parole, le matrici e i nicknames degli utenti sono: "abcdefghijklmnopqrstuvwxyz", contenuto nella definizione "ALPHABET"

in "server.h". L'input del client, invece, viene tutto convertito a lowercase prima di essere elaborato ed inviato, quindi il comando inserito "MaTrIcE" sarà valido come "matrice".

A tutte le informazioni che possono essere espresse solamente con numeri interi positivi è stato assegnato il tipo "unsigned long int" abbreviato con il "typedef" ad "uli". Per le variabili booleane (o a carattere discreto) è stato utilizzato il tipo "char" poiché occupa solo un byte.

Perché nel server le "read()" nella funzione "receiveMessage()", chiamata dai "clientHandler()" threads, viene interrotta tramite l'invio (da parte del "signalsThread()" thread) del segnale SIGUSR1, mentre nel client la "read()" dello STDIN viene interrotta autonomamente grazie alla libreria "fcntl"? Semplicemente perché non sapevo se potesse fare con questa libreria quando ho sviluppato il server, che ho programmato per prima, quando successivamente, sviluppando il client l'ho scoperto, sono rimasto deluso da tutta l'inutile complessità aggiuntiva che ho dovuto gestire nel server, ma questo funziona ugualmente e mostra più attinenza agli argomenti trattati nel corso, quindi l'ho felicemente lasciato così.

Durante lo sviluppo del client, per tentare di risolvere il problema spiegato sulla sincronizzazione input/output e buffer STDIN, sono finito per sperimentare con una nota libreria chiamata "ncurses". Questa permette di gestire il terminale nel dettaglio, ma era inappropriata al mio use case. Risolveva il problema, ma generava una complessità in tutto il resto insostenibile per le semplici stampe che dovevo fare. Questo mi ha insegnato che anche fare delle "presumibilmente semplici" interfacce grafiche testuali non è sempre così scontato come credevi.