

Міністерство освіти і науки України
НТУУ «Київський політехнічний інститут»
Фізико-технічний інститут

Протокол лабораторної роботи №2
з дисципліни Проектування високонавантажених систем
на тему: Порівняння пропускної здатності

Виконав: студент групи ФІ-21
Грунда Ярослав

Київ, 2025

Мета роботи

Порівняти throughput (пропускна здатність) Веб-застосунку в залежності від навантаження та способу зберігання даних (в пам'яті та БД).

Завдання

1. Створити Веб-застосунок який містить два ендпоінта (приймає два запити):
 - /inc - інкрементує внутрішній каунтер
 - /count - повертає значення каунтера
2. Створити HTTP-клієнта, який зможе робити задану кількість викликів до Веб-застосунку, а також заміряти час витрачений на здійснення цих викликів.
3. Порівняти пропускну здатність в залежності від кількості клієнтів (1, 2, 5, 10) та способу зберігання даних (в пам'яті та БД). Кожен клієнт робить по 10 тисяч викликів.
4. Веб-застосунок має підтримувати багатопоточність.
5. Клієнти мають запускатись паралельно та одночасно генерувати запити.
6. Каунтер на Веб-застосунку має бути потоко-безпечним та забезпечувати відсутність lost-update.

Зміст

1	Результати	2
2	Скриншоти результатів	3
3	Висновки	4
3.1	Порівняння Пропускної Здатності	4
3.2	Реалізація Технічних Вимог	4
4	Код	4
4.1	Clients	4
4.2	In-memory Server	7
4.3	DB Server	9

1 Результати

Таблиця 1: In-memory testing

Number of clients	Expected count	Actual count	Total time	Throughput
1	10,000	10,000	8.7780	1,139.21
2	20,000	20,000	13.8720	1,441.75
5	50,000	50,000	37.0491	1,349.56
10	100,000	100,000	75.0806	1,331.90

Таблиця 2: DB testing

Number of clients	Expected count	Actual count	Total time	Throughput
1	10,000	10,000	14.0577	711.35
2	20,000	20,000	16.5079	1,211.54
5	50,000	50,000	42.2388	1,183.74
10	100,000	100,000	82.1198	1,217.73

2 Скриншоти результатів

```
(venv7s) D:\University\semestr_7>python High-Load_Systems\lab1\load_test.py
--- Starting Load Test ---
Server: http://localhost:8080
Requests per client: 10,000
Load levels (clients): [1, 2, 5, 10]
Counter successfully reset to 0.

--- Test: 1 Client(s) ---
Expected Count: 10,000
Actual Count: 10,000
Total Time: 8.7780 s
Throughput: 1,139.21 req/s
Total Errors: 0
Counter successfully reset to 0.

--- Test: 2 Client(s) ---
Expected Count: 20,000
Actual Count: 20,000
Total Time: 13.8720 s
Throughput: 1,441.75 req/s
Total Errors: 0
Counter successfully reset to 0.

--- Test: 5 Client(s) ---
Expected Count: 50,000
Actual Count: 50,000
Total Time: 37.0491 s
Throughput: 1,349.56 req/s
Total Errors: 0
Counter successfully reset to 0.

--- Test: 10 Client(s) ---
Expected Count: 100,000
Actual Count: 100,000
Total Time: 75.0806 s
Throughput: 1,331.90 req/s
Total Errors: 0

--- Testing Complete ---
```

Рис. 1: In-memory testing

```
(venv7s) D:\University\semestr_7>python High-Load_Systems\lab1\load_test.py
--- Starting Load Test ---
Server: http://localhost:8080
Requests per client: 10,000
Load levels (clients): [1, 2, 5, 10]
Counter successfully reset to 0.

--- Test: 1 Client(s) ---
Expected Count: 10,000
Actual Count: 10,000
Total Time: 14.0577 s
Throughput: 711.35 req/s
Total Errors: 0
Counter successfully reset to 0.

--- Test: 2 Client(s) ---
Expected Count: 20,000
Actual Count: 20,000
Total Time: 16.5079 s
Throughput: 1,211.54 req/s
Total Errors: 0
Counter successfully reset to 0.

--- Test: 5 Client(s) ---
Expected Count: 50,000
Actual Count: 50,000
Total Time: 42.2388 s
Throughput: 1,183.74 req/s
Total Errors: 0
Counter successfully reset to 0.

--- Test: 10 Client(s) ---
Expected Count: 100,000
Actual Count: 100,000
Total Time: 82.1198 s
Throughput: 1,217.73 req/s
Total Errors: 0

--- Testing Complete ---
```

Рис. 2: DB testing

3 Висновки

3.1 Порівняння Пропускної Здатності

In-Memory Server (зберігання в пам'яті)

При 1 клієнті цей сервер показав високу базову пропускну здатність (1139 req/s), а пікове значення продуктивності було досягнуто при 2 клієнтах (1441 req/s). При 5 та 10 клієнтах пропускну здатність почала незначно знижуватися (1349 та 1331 req/s відповідно). Це пояснюється зростанням конкуренції (contention) за доступ до єдиної атомарної змінної, що створює невеликі затримки.

DB Server (зберігання в базі даних)

При 1 клієнті сервер продемонстрував найнижчу пропускну здатність (711 req/s) через накладні витрати на мережеву взаємодію з БД. З ростом кількості клієнтів продуктивність значно зростала і стабілізувалася на високому рівні (1211-1217 req/s). Це демонструє здатність PostgreSQL ефективно обробляти паралельні запити, використовуючи пул з'єднань та внутрішні механізми паралелізму.

Загальний висновок

In-Memory рішення є беззаперечним лідером за швидкістю, проте дані при цьому є тимчасовими. На противагу, сервер з базою даних надає найважливішу перевагу — персистентність (надійне збереження стану), а також краще масштабується під високим навантаженням, що робить його більш стійким та практичним рішенням.

3.2 Реалізація Технічних Вимог

1. Багатопоточність веб-застосунку: Обидва веб-сервери, написані на Go, за замовчуванням є багатопоточними. Стандартний пакет `net/http` автоматично обробляє кожен вхідний HTTP-запит у власній горутині (`goroutine`), що забезпечує високий рівень паралелізму без додаткового коду.
2. Паралельний запуск клієнтів: У Python-скрипті `load_test.py` для одночасного генерування запитів було використано бібліотеку `concurrent.futures` та клас `ThreadPoolExecutor`.
3. Потокобезпечний каунтер: Проблема `lost updates` була вирішена двома різними методами:
 - Для `in_memory_server` використовувався пакет `sync/atomic` та тип `atomic.Int64`. Його метод `Add(1)` виконує операцію інкременту на апаратному рівні як єдину неподільну (атомарну) інструкцію, що унеможливорює виникнення гонки даних.
 - Для `db_server` потоко-безпечність забезпечувалася самою системою управління базами даних PostgreSQL.

4 Код

4.1 Clients

```
# File: load_test.py
import requests
import time
import argparse
from concurrent.futures import ThreadPoolExecutor, as_completed
```

```
# --- Configuration ---
DEFAULT_BASE_URL = "http://localhost:8080"
DEFAULT_REQUESTS_PER_CLIENT = 10000
DEFAULT_CLIENT_LOADS = [1, 2, 5, 10]

def reset_counter(base_url):
    """Sends a request to /reset to reset the counter on the server."""
    try:
        response = requests.get(f"{base_url}/reset", timeout=5)
        response.raise_for_status()
        print("Counter successfully reset to 0.")
        return True
    except requests.RequestException as e:
        print(f"Failed to reset counter: {e}")
        return False

def make_requests(client_id, base_url, requests_per_client):
    """
    Thread function: performs a given number of /inc requests.
    Returns the number of errors that occurred during execution.
    """
    error_count = 0
    with requests.Session() as session:
        for _ in range(requests_per_client):
            try:
                # Set a short timeout to avoid waiting forever
                response = session.get(f"{base_url}/inc", timeout=2)
                response.raise_for_status()
            except requests.RequestException:
                error_count += 1
    return error_count

def get_final_count(base_url):
    """Gets the final value of /count"""
    try:
        response = requests.get(f"{base_url}/count", timeout=5)
        response.raise_for_status()
        return int(response.text.strip())
    except (requests.RequestException, ValueError) as e:
        print(f"Failed to get the final count: {e}")
        return "ERROR"

def run_test(num_clients, base_url, requests_per_client):
    """Runs a load test with N clients"""
    print(f"\n---Test: {num_clients} Client(s)---")

    start_time = time.time()
    total_errors = 0
```

```

with ThreadPoolExecutor(max_workers=num_clients) as executor:
    # Create tasks for each client
    futures = [executor.submit(make_requests, i, base_url,
                               requests_per_client) for i in range(num_clients)]

    # Collect results as they complete
    for future in as_completed(futures):
        total_errors += future.result()

end_time = time.time()
total_time = end_time - start_time
total_requests = num_clients * requests_per_client

throughput = total_requests / total_time
final_count = get_final_count(base_url)

print(f"Expected_Count:_{total_requests:,}")
print(f"Actual_Count:_{final_count:,}" if isinstance(
    final_count, int) else f"Actual_Count:_{final_count}")
print(f"Total_Time:_{total_time:.4f}_s")
print(f"Throughput:_{throughput:.2f}_req/s")
print(f"Total_Errors:_{total_errors:,}")

# Correctness check
if isinstance(final_count, int) and final_count !=
    total_requests:
    print("WARNING:_Actual_and_expected_counts_do_not_match!_
        Possible_race_condition_on_the_server.")

if __name__ == "__main__":
    parser = argparse.ArgumentParser(description="A_script_for_load_
        testing_a_web_counter.")
    parser.add_argument("--url", default=DEFAULT_BASE_URL, help=
        "Server_URL,_e.g.,_http://localhost:8080")
    parser.add_argument("--reqs", type=int, default=
        DEFAULT_REQUESTS_PER_CLIENT, help="Number_of_requests_per_
        client")
    parser.add_argument("--clients", nargs='+', type=int, default=
        DEFAULT_CLIENT_LOADS, help="List_of_client_loads,_e.g.,_1_5_10
        ")
    args = parser.parse_args()

    print("---_Starting_Load_Test_---")
    print(f"Server:_{args.url}")
    print(f"Requests_per_client:_{args.reqs:,}")
    print(f"Load_levels_(clients):_{args.clients}")

    for client_count in args.clients:
        # 1. Reset the counter before each test
        if not reset_counter(args.url):

```

```
        break # Abort if reset fails

# 2. Brief pause to ensure the server is ready
time.sleep(1)

# 3. Run the test
run_test(client_count, args.url, args.reqs)

print("\\n---_Testing_Complete_---")
```

4.2 In-memory Server

```
// File: in_memory_server.go
package main

import (
    "context"
    "fmt"
    "log/slog"
    "net/http"
    "os"
    "os/signal"
    "sync/atomic"
    "syscall"
    "time"
)

// WebCounter uses atomic.Int64 for maximum performance.
type WebCounter struct {
    count atomic.Int64
}

// IncHandler atomically increments the counter by 1.
func (wc *WebCounter) IncHandler(w http.ResponseWriter, r *http.
Request) {
    wc.count.Add(1)
    w.WriteHeader(http.StatusOK)
}

// CountHandler atomically reads the current value of the counter.
func (wc *WebCounter) CountHandler(w http.ResponseWriter, r *http.
Request) {
    currentCount := wc.count.Load()
    w.Header().Set("Content-Type", "text/plain")
    fmt.Fprintf(w, "%d", currentCount)
}

// ResetHandler atomically resets the counter to 0.
func (wc *WebCounter) ResetHandler(w http.ResponseWriter, r *http.
Request) {
```



```
    wc.count.Store(0)
    w.Header().Set("Content-Type", "text/plain")
    fmt.Fprintln(w, "Counter reset to 0")
}

func main() {
    logger := slog.New(slog.NewJSONHandler(os.Stdout, nil))
    slog.SetDefault(logger)

    counter := &WebCounter{}

    mux := http.NewServeMux()
    mux.HandleFunc("/inc", counter.IncHandler)
    mux.HandleFunc("/count", counter.CountHandler)
    mux.HandleFunc("/reset", counter.ResetHandler)

    server := &http.Server{
        Addr: ":8080",
        Handler: mux,
    }

    // Start the server in a separate goroutine
    go func() {
        slog.Info("Starting In-Memory server on", "addr",
            server.Addr)
        if err := server.ListenAndServe(); err != nil && err !=
            http.ErrServerClosed {
            slog.Error("Server failed to start", "error", err
            )
            os.Exit(1)
        }
    }()

    // Graceful Shutdown implementation
    stopChan := make(chan os.Signal, 1)
    signal.Notify(stopChan, syscall.SIGINT, syscall.SIGTERM) //
        Catch Ctrl+C and kill signals

    <-stopChan // Block until a signal is received

    slog.Info("Shutting down server gracefully...")

    // Allow 5 seconds for current requests to finish
    ctx, cancel := context.WithTimeout(context.Background(), 5*
        time.Second)
    defer cancel()

    if err := server.Shutdown(ctx); err != nil {
        slog.Error("Graceful shutdown failed", "error", err)
    } else {
```

```
        slog.Info("Server_stopped_gracefully")
    }
}
```

4.3 DB Server

```
// File: db_server.go
package main

import (
    "context"
    "database/sql"
    "fmt"
    "log/slog"
    "net/http"
    "os"
    "os/signal"
    "syscall"
    "time"

    // PostgreSQL driver. The _ means we are using it for its
    // side effects (driver registration).
    _ "github.com/lib/pq"
)

// DBWrapper contains the database connection.
type DBWrapper struct {
    DB *sql.DB
}

// IncHandler uses ExecContext for a thread-safe increment in the
// DB.
func (dw *DBWrapper) IncHandler(w http.ResponseWriter, r *http.
Request) {
    _, err := dw.DB.ExecContext(r.Context(), "UPDATE_
counter_table SET value_ = value_ + 1 WHERE id_ = 1")
    if err != nil {
        slog.Error("DB_error_during_increment", "error", err)
        http.Error(w, "DB_error", http.
StatusInternalServerError)
        return
    }
    w.WriteHeader(http.StatusOK)
}

// CountHandler uses QueryRowContext to read the value.
func (dw *DBWrapper) CountHandler(w http.ResponseWriter, r *http.
Request) {
    var count int64
```

```

err := dw.DB.QueryRowContext(r.Context(), "SELECT value FROM counter_table WHERE id=1").Scan(&count)
if err != nil {
    slog.Error("DB error during read", "error", err)
    http.Error(w, "DB error", http.
        StatusInternalServerError)
    return
}
w.Header().Set("Content-Type", "text/plain")
fmt.Fprintf(w, "%d", count)
}

// ResetHandler resets the counter in the DB.
func (dw *DBWrapper) ResetHandler(w http.ResponseWriter, r *http.
    Request) {
    _, err := dw.DB.ExecContext(r.Context(), "UPDATE counter_table SET value=0 WHERE id=1")
    if err != nil {
        slog.Error("DB error during reset", "error", err)
        http.Error(w, "DB error", http.
            StatusInternalServerError)
        return
    }
    w.Header().Set("Content-Type", "text/plain")
    fmt.Fprintln(w, "Counter reset to 0 in DB")
}

func main() {
    logger := slog.New(slog.NewJSONHandler(os.Stdout, nil))
    slog.SetDefault(logger)

    // --- Get the connection string from an environment variable
    // ---
    connStr := os.Getenv("DATABASE_URL")
    if connStr == "" {
        // Default value for local development if the variable
        // is not set.
        connStr = "user=postgres password=mysecretpassword dbname=web_counter_db sslmode=disable"
        slog.Warn("DATABASE_URL environment variable not set. Using default value.")
    }

    db, err := sql.Open("postgres", connStr)
    if err != nil {
        slog.Error("FATAL: Failed to open DB connection", "error", err)
        os.Exit(1)
    }
    defer db.Close()

```

```
// Configure the connection pool for high performance.
db.SetMaxOpenConns(25)
db.SetMaxIdleConns(10)
db.SetConnMaxLifetime(5 * time.Minute)

if err = db.Ping(); err != nil {
    slog.Error("FATAL: Failed to connect to DB", "error",
        err)
    os.Exit(1)
}

dbWrapper := &DBWrapper{DB: db}

mux := http.NewServeMux()
mux.HandleFunc("/inc", dbWrapper.IncHandler)
mux.HandleFunc("/count", dbWrapper.CountHandler)
mux.HandleFunc("/reset", dbWrapper.ResetHandler)

server := &http.Server{
    Addr: ":8080",
    Handler: mux,
}

// Start the server in a separate goroutine
go func() {
    slog.Info("Starting DB server on", "addr", server.Addr)
    if err := server.ListenAndServe(); err != nil && err !=
        http.ErrServerClosed {
        slog.Error("Server failed to start", "error", err)
    }
    os.Exit(1)
}()

// Graceful Shutdown
stopChan := make(chan os.Signal, 1)
signal.Notify(stopChan, syscall.SIGINT, syscall.SIGTERM)

<-stopChan
slog.Info("Shutting down server gracefully...")

ctx, cancel := context.WithTimeout(context.Background(), 5*
    time.Second)
defer cancel()

if err := server.Shutdown(ctx); err != nil {
    slog.Error("Graceful shutdown failed", "error", err)
} else {
    slog.Info("Server stopped gracefully")
}
```

}
}