



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Diseño Software un Quake III Arena

Máster Universitario en Ingeniería Informática

Elena M. Delamano Freije
Martín Álvarez Castillo

Índice general

1.	Introducción	2
2.	Metodología de Desarrollo y Herramientas	3
3.	Arquitectura de Software: Patrones y Antipatrones	3
4.	Diseño de Software	12
5.	Calidad del Software	17
6.	Estado de la accesibilidad en el proyecto	17
7.	Conclusiones	18
Appendices		19

1. Introducción

Quake III Arena, a partir de ahora referido como **Q3**, es un videojuego de disparos en primera persona (*FPS*) que fue lanzado en el año 1999 por *id Software*. Este anticipado lanzamiento, al igual que el resto de juegos de *id*, revolucionó el género de los FPS, tanto a nivel de diseño —el cual no se comentará en este documento, excepto donde sea relevante—, como a nivel de tecnologías e implementación de motor gráfico de tiempo real en el ámbito de los videojuegos. [2]

El nuevo motor desarrollado para crear Q3 fue bautizado como *id tech 3*. Cuando existan referencias a Q3 en esta memoria, realmente se estará haciendo referencia a la versión de *id tech 3* empleada para el desarrollo de Q3. Para desarrollos comerciales, *id Software* ofreció una licencia de su nuevo motor a empresas de terceros. Una de las múltiples empresas que licenció *id tech 3* fue Activision, para el desarrollo de la primera edición de *Call of Duty*. La licencia del motor permitía la modificación del mismo y, a día de hoy, la familia de juegos de la franquicia de *Call of Duty* todos usan una versión modificada cuya raíz es *id tech 3*. [3]

Asimismo, siguiendo la filosofía de “compartir y colaborar para avanzar la tecnología” del programador líder John Carmack, *id Software* liberó todo el código fuente de Q3 bajo la licencia GPL-2.0 [4]. La liberación de este código provocó que el juego fuera portado a muchas nuevas arquitecturas y, al tener dependencias con licencias abiertas, permitió que los seguidores hicieran versiones mejoradas del juego completamente retrocompatibles con el contenido pasado, añadiendo funcionalidades nuevas y arreglando bugs conocidos. Una de estas implementaciones de software libre muy popular es *ioquake3* [5].

Durante el desarrollo de este informe se utilizará el código inicialmente liberado en 2005, con una *release* única, ya que no se ha subido un histórico de *commits*, y cuyos programadores —de acuerdo a los créditos— son John Carmack (director técnico y autor de la mayor parte del código), Robert A. Duffy y Jim Dose.

El estado actual del proyecto es el mismo que cuando se desplegó la versión final del juego en 1999 (el código liberado en 2005 compila una versión exacta a la última versión disponible de Q3 en el momento). Aunque existen clones de este proyecto cuyo código ha sido limpiado sin introducir nuevos cambios o arreglar errores, se estudiará el código tal y como fue subido.

goals, actors, status, releases [1]

2. Metodología de Desarrollo y Herramientas

<https://github.com/id-Software/Quake-III-Arena>

Importante -><https://www.youtube.com/watch?v=KFziBfvAFnM>

3. Arquitectura de Software: Patrones y Antipatrones

patterns and anti-patterns

La gran mayoría de aplicaciones están basadas en sistemas 2D que sólo requieren actualizar partes de la vista en cada momento. Cuando nos referimos a aplicaciones 3D, estas arquitecturas clásicas no son compatibles ya que, para dar sensación de fluidez y continuidad, el software debe generar una serie de frames cada segundo de manera constante. Incluso cuando el software no está haciendo ningún input, se produce el output de los frames.

La arquitectura común de todos los aplicativos 3D es el render-loop:

```
while (!quit)
{
    // Update the camera transform based on interactive
    // inputs (If real time) or by following a
    // predefined path.
    updateCamera();
    // Update positions, orientations and any other
    // relevant visual state of any dynamic elements
    // in the scene.
    updateSceneElements();
    // Render a still frame into an off-screen frame
    // buffer known as the "back buffer".
    renderScene();
    // Swap the back buffer with the front buffer,
    // making
    // the most recently rendered image visible
    // on-screen. (Or, in windowed mode, copy (blit)
    // the
    // back buffer's contents to the front buffer.
    swapBuffers();
}
```

En un videojuego, además de hacer el renderizado, se debe tener en cuenta la interactividad con el usuario, que en este caso afectará a muchos más elementos que el movimiento de la cámara. Para ello se introduce el concepto del *game-loop*, un bucle que además de ejecutar las tareas de renderizado contiene toda la lógica de control del juego.

Un ejemplo básico de un game-loop sería el caso del videojuego clásico Pong:

```
void main() // Pong
{
    initGame();

    while (true) // game loop
    {
        readHumanInterfaceDevices();
        if (quitButtonPressed())
        {
            break; // exit the game loop
        }
        movePaddles();
        moveBall();
        collideAndBounceBall();
        if (ballImpactedSide(LEFT_PLAYER))
        {
            incrementScore(RIGHT_PLAYER);
            resetBall();
        }
        else if (ballImpactedSide(RIGHT_PLAYER))
        {
            incrementScore(LEFT_PLAYER);
            resetBall();
        }
        renderPlayfield();
    }
}
```

Esta aproximación de game-loop es demasiado básica y limitada para juegos modernos. Aún así, la arquitectura de dichos juegos se basa en un game-loop que contiene a su vez una serie de bucles de cada subsistema del motor, pudiendo correr cada uno de esos bucles a una frecuencia distinta del resto. Por ejemplo: en un segundo queremos renderizar 60 fotogramas, pero sólo tenemos que recibir paquetes de red 30 veces por segundo.

Se destacan dos aproximaciones muy frecuentes en el desarrollo de motores de videojuegos:

- ***Callback-Driven frameworks***. La mayoría de los subsistemas de motores y de paquetes middleware de videojuegos están estructurados como librerías. Para la implementación del game-loop se usan las llamadas a esos subsistemas a partir de sus API's para agilizar la lógica de cada subsistema en cada iteración. Por ejemplo: si se estuviera implementando el juego de *Flappy bird* utilizando este estilo, una iteración del bucle podría parecerse a algo similar a:

```
void main() // Flappy Bird
{
    GameLogic.initGame();
    Audio.playBackgroundMusic();
    while (true) // game loop
    {
        Input.readHumanInterfaceDevices();
        if (input.screenTouched())
        {
            Physics.increaseBirdUpMomentum(); // exit the
            game loop
        }
        GameLogic.moveBird();
        GameLogic.scrollScreen();
        if (Physics.birdCollision() //If the bird collides
            with ground or pipe
        {
            break; //Exit game loop
        }
        Audio.playSoundEffects();
        Graphics.renderScreen();
    }
    Networking.loadHighScores(); //
    GameLogic.playGameOverScreen();
}
```

El programador, en este ejemplo, sólo ha tenido que diseñar la lógica de cómo funciona el juego y ha dejado en manos de los subsistemas la ejecución de bajo nivel de los resultados de la interacción del usuario. Los subsistemas utilizados en este caso, y de los que el programador no está obligado a conocer más que sus API's, serían las implementaciones de networking, de

audio, de gráficos, de input y de físicas. La mayoría de estas librerías son independientes e intercambiables entre sí, a las que se accede utilizando un patrón facade.

Si en el futuro el programador decidiera programar este juego para iOS, este código tendría que adaptar las llamadas de API a las librerías disponibles en iOS, quizá utilizando el **patrón adaptador** para evitar cambiar la lógica principal y los tipos de datos de su sistema.

- **Event-Based Updating.** En este estilo de implementación todos los subsistemas son capaces de enviar y recibir eventos. Estos eventos son similares a los que se usan en los patrones de interfaces gráficas como MVC.

En el game-loop se han de procesar todos los eventos recibidos en la anterior iteración y distribuirlos a los subsistemas pertinentes para que los procesen. Además, también se debe de encargar de notificar a los subsistemas de en qué instante se encuentra la ejecución del programa. Los eventos recibidos no siempre tienen por qué ser procesados inmediatamente, por lo que cada subsistema debe de tener capacidad para almacenar eventos y en base a la información del bucle principal, ser consciente del instante en el que ha de procesar cada uno de los eventos.

La implementación de este modelo puede ser completa, separando todos los subsistemas, o usarse sólo para ciertos subsistemas, como suele ocurrir en motores en los que se implementó *a posteriori* y en los que era muy difícil desacoplar el subsistema de rendering de otros que dependían de él como: físicas, audio e IA.

A lo largo de este trabajo se comentarán patrones apoyados en esta arquitectura basada en eventos.

El motor *id tech 3* y sus antecesores utilizan una arquitectura completamente basada en eventos que desacopla los ciclos de vida de los diferentes subsistemas del motor. Una buena aproximación para entender la arquitectura es representar como una caja negra el sistema (*Quake3.exe*). Como se puede ver en la Figura 1, el software sólo recibe entradas de red y teclado/ratón, y produce salidas de red y de frames.

Dentro del sistema se identifican 6 módulos: lógica de juego (*quake3.exe*), rendering (*renderer.lib*), IA (*bot.lib*), game (*game*), cgame (*cgame*) e interfaz de usuario (*q3_ui*), representados en la Figura 2

En esta arquitectura se destacan dos decisiones de diseño muy importantes:

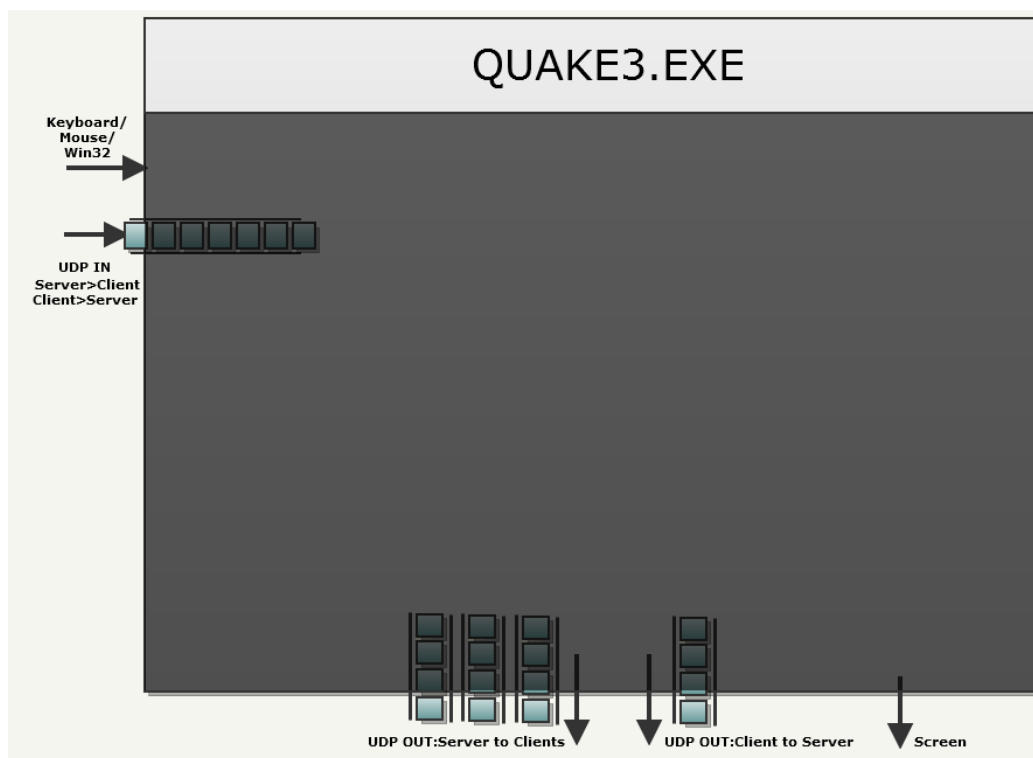


Figura 1: Q3 architecture blackbox

Bitácora de inputs para facilitar las pruebas

Cada uno de los inputs recibidos (Teclado, mensaje win32, ratón, socket UDP) es convertido a *event_t* y encolado en una cola de eventos (*sysEvent_t event-Que[256]*). Con esta aproximación se puede mantener una bitácora de estos inputs que, junto con otros factores también almacenados, permiten ser reproducidos en orden para recrear bugs de manera consistente. [6]

En la figura X se identifican dentro de la parte *Common* el administrador de inputs, la cola de eventos y el *event journal* mencionado.

Separación explícita de cliente y servidor

Durante el desarrollo de *id tech 3* se decidió tomar la decisión de implementar una arquitectura cliente-servidor en la que los roles y subsistemas de cada uno de los dos fueran significativamente distintos. Hasta entonces los clientes y servidores contenían el mismo código pero debían desempeñar roles distintos.

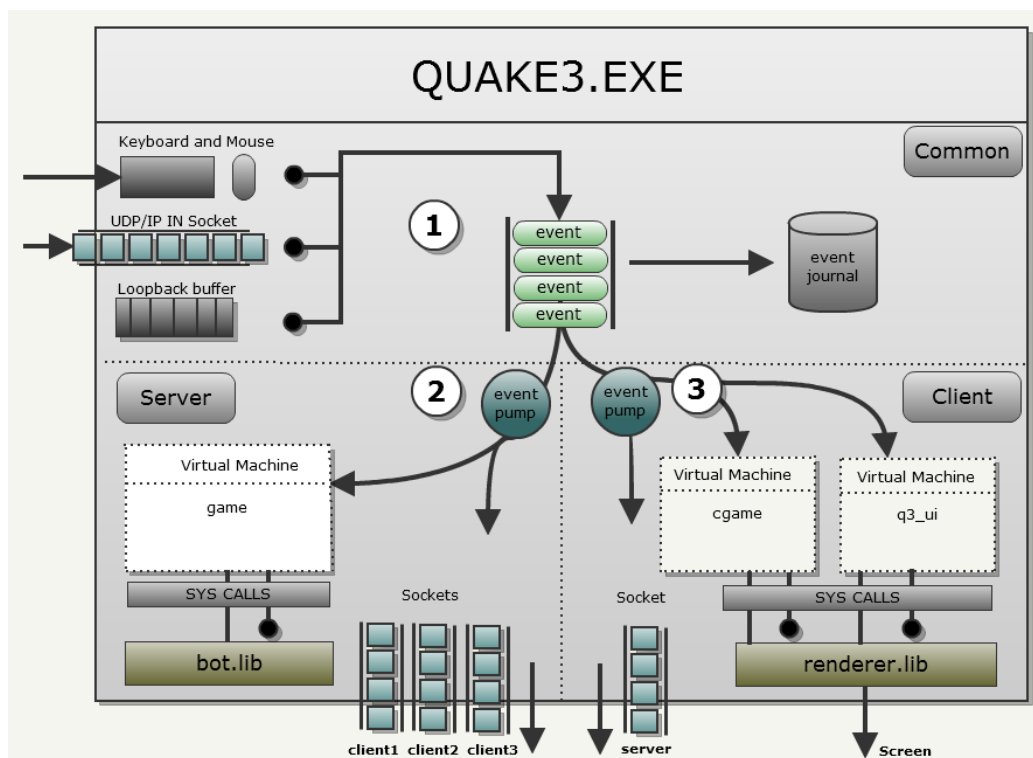


Figura 2: Q3 architecture

En Q3 el servidor es el responsable de mantener el estado de la partida, determinar información de la partida necesitan los clientes y propagarla por la red. Se puede observar en la imagen que *bot.lib* está contenido únicamente dentro de la parte servidora, ya que es también la encargada de proveer la lógica e inputs de los jugadores controlados por la IA.

El cliente es responsable de predecir dónde están los objetos en cada instante, incluyendo los elementos afectados por la red utilizando una técnica llamada *lag compensation*, y de renderizar la vista para el usuario — De nuevo, en la figura X se puede observar como *renderer.lib* está contenido en la parte cliente. [7]

Eventos desde el punto de vista del código

Para ilustrar la producción/consumición de eventos se puede estudiar el bucle principal (*main*) del código de Q3. Se muestra un ejemplo resumido (Código

omitido y desenroscado):

```
int WinMain(HINSTANCE hInstance, HINSTANCE hPrevInstance,
            LPSTR lpCmdLine, int nCmdShow)
{
    Com_Init

    NET_Init

    while( 1 )
    {
        //Codigo de Common
        IN_Frame() // Inyecta los inputs de Win32 joystick y
                   // raton en la cola unificada de eventos como event_t.
        {
            IN_JoyMove
            IN_ActivateMouse
            IN_MouseMove
        }

        Com_Frame
        {
            //Codigo de Common
            Com_EventLoop // Envia mensajes win32, paquetes UDP
                           // del socket y comandos de la consola a la cola
                           // (sysEvent_t eventQue[256])
            Cbuf_Execute

            //Codigo de Servidor (SV)
            SV_Frame
            {
                SV_BotFrame // Llamada a bot.lib para avanzar su
                             // logica
                VM_Call( gvm, GAME_RUN_FRAME, sv.time ) // Llamada
                                                            // a la Game Virtual Machine para procesar la
                                                            // logica de juego
                SV_CheckTimeouts
                SV_SendClientMessages // Enviar el snapshot o
                                       // delta snapshot (diferencia entre el snapshot
                                       // anterior y el actual) a los clientes conectados
            }

            //Codigo de Common aqui
        }
    }
}
```

```

Com_EventLoop
Cbuf_Execute

// Codigo de cliente (CL)
CL_Frame
{
    CL_SendCmd // Eenviar los comandos al servidor
                usando la cola de eventos.

    SCR_UpdateScreen
    VM_Call( cgvm, CG_DRAW_ACTIVE_FRAME); // Enviar
        mensajes a la Client Virtual Machine (encargada
        de hacer las predicciones).
    or
    VM_Call( uivm, UI_DRAW_CONNECT_SCREEN); // Envia un
        mensaje a la UI Virtual Machine si esta el menu
        abierto

    S_Update // Actualizar los buffers de sonido
}
}
}
}

```

En este código se puede observar la potencia del patrón basado en máquinas virtuales, que permite obviar las llamadas de renderizado en el bucle principal del juego. Lo único que necesita hacer este bucle es enviar un mensaje (evento) a la máquina virtual del cliente (*CG_DRAW_ACTIVE_FRAME*) indicándole que es necesario realizar un refresco (cargar el siguiente fotograma).

Esta máquina virtual realiza los trabajos de culling y predicción antes de llamar a las librerías de OpenGL usando una llamada del sistema Q3 (*CG_R_RENDERSCENE*). Cuando Quake.exe recibe esta llamada es cuándo realmente se llama a la función de renderizado de la escena (*RE_RenderScene*).[8][9]

En la figura X se puede visualizar esta explicación. En lugar de tener todas las llamadas acopladas y dependientes del mismo ciclo de vida, se aprovecha la arquitectura de mensajes para que cada componente realice su trabajo cuando esté listo para procesarlo. Además, esto implica que Quake3.exe no tiene necesidad de saber qué trabajos va a realizar la *Client Virtual Machine* antes de lanzar el mensaje para hacer el render de la escena.

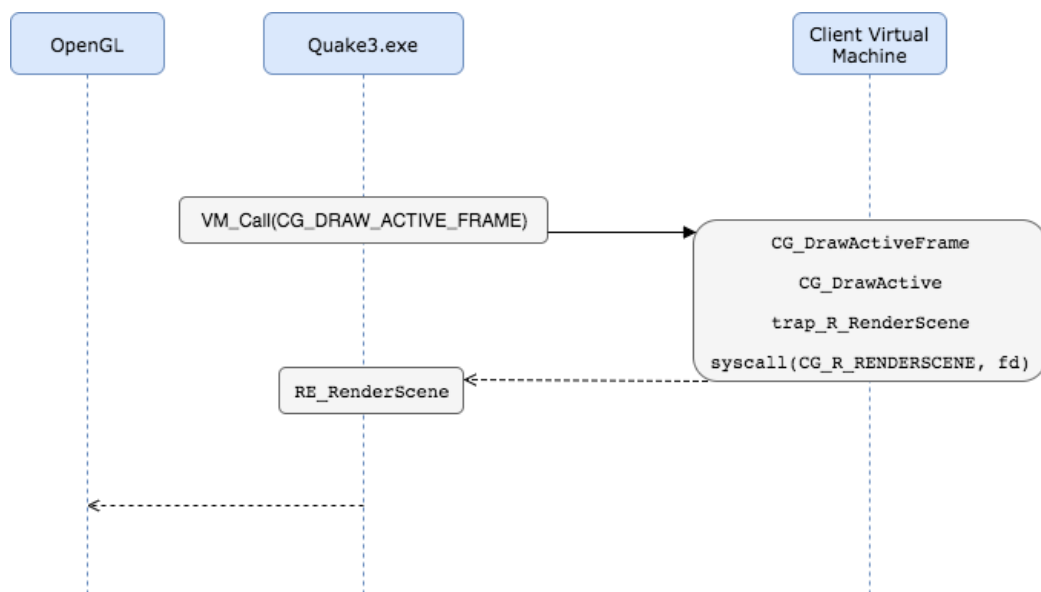


Figura 3: Q3 architecture blackbox

4. Diseño de Software

El software de Quake III Arena está considerado un buen ejemplo de programación estructurada, que gira en torno a una adecuada definición de funciones y a un equilibrio respecto a la complejidad de las mismas. En la versión que se está analizando en esta memoria, se puede observar que el código está bien diseñado y estructurado, pudiendo tener una visión global de su estructura.

El desarrollo ha sido realizado íntegramente utilizando el lenguaje C —es decir, un lenguaje no orientado a objetos — por lo que no se pueden encontrar patrones de diseño software tal y como se está acostumbrado a encontrarlos. Pero esto no implica que no puedan estar presentes a lo largo del código. Se ha intentado localizar algunos conocidos como el *memento*, *command* y *interpreter*, y a continuación se expondrá la implementación concreta de ellos:

Memento Pattern: Arquitectura de Red basada en Snapshots

Para coordinar los estados de la partida en el servidor, con el fin de sincronizar todos los clientes y generar estados consistentes basándose en la interacción de los mismos, Q3 utiliza una implementación del *patrón memento*.

Dentro del módulo servidor existe un denominado *Master gamestate* que representa el estado veraz y universal de la partida. Cada cliente almacena los últimos 32 estados en un lista circular, estos estados son llamados *snapshots*. El dummy snapshot es un estado con todos los valores a 0 utilizado para calcular el delta (diferencia entre el estado actual y el siguiente) cuando no existe estado anterior.

Simplificando mucho el funcionamiento del networking, los clientes no envían y reciben estados completos, sino que guardan los últimos estados con el fin de sólo enviar y recibir la diferencia entre estados, omitiendo información repetida, sólo actualizando lo necesario. Si fuera necesario, se podría mandar el estado completo en lugar de una actualización parcial.

La ventaja de esta implementación reside en la posibilidad de enviar la diferencia entre estados arbitrariamente antiguos. Es decir, si un cliente no recibió una actualización de un estado (por problemas de conectividad, por ejemplo), no

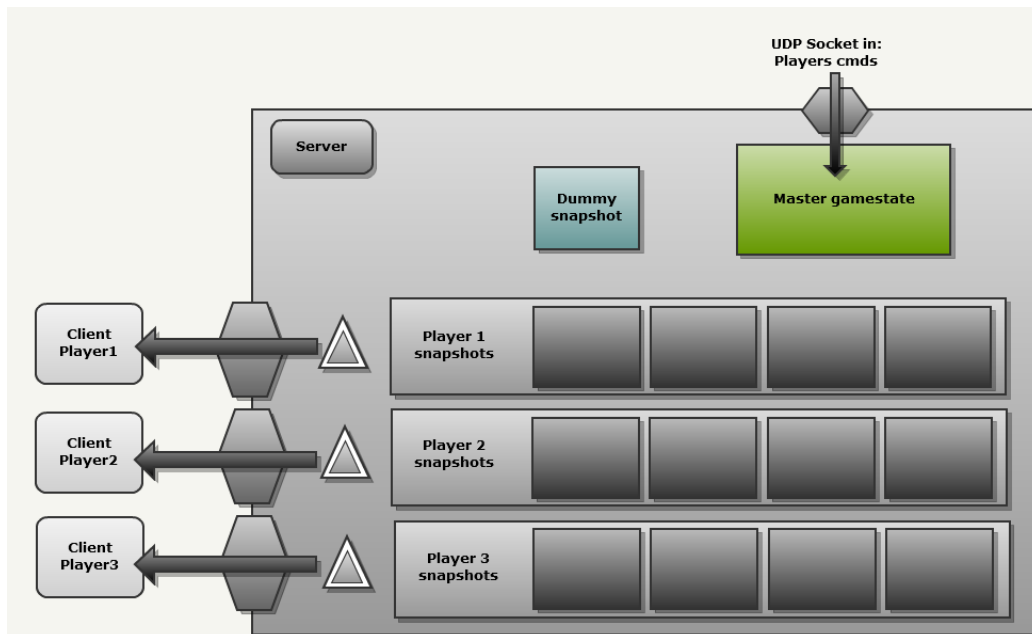


Figura 4: Q3 architecture virtual machines

es viable re-enviar la paquetería de ese estado y, de hecho, no sería posible ya que toda la paquetería de red en Q3 es basada en UDP. En su lugar, se ignora esa actualización y en la siguiente actualización el cliente reportará al servidor el estado de su mundo, el servidor simplemente manda la diferencia entre el estado maestro y su estado, sin importarle cuántos snapshots de retraso tenga el cliente (hasta el límite de snapshots) y sin necesidad de implementar control sobre los estados concretos. Si la diferencia es suficientemente grande, podría provocar un reenvío del estado completo.

Command pattern: Quake Virtual Machines

Por motivos de rendimiento y portabilidad, la lógica del juego en Q3 (y antiguos Quakes) se ejecuta encapsulada en las llamadas Quake Virtual Machines, que son un sistema similar a un 'Sandbox' que limita las instrucciones que se pueden utilizar y cómo se ejecutan. Su comportamiento es similar a la JVM respecto a que el código escrito para Q3VM corre en todos los sistemas que tengan Q3VM interpreter. [10]

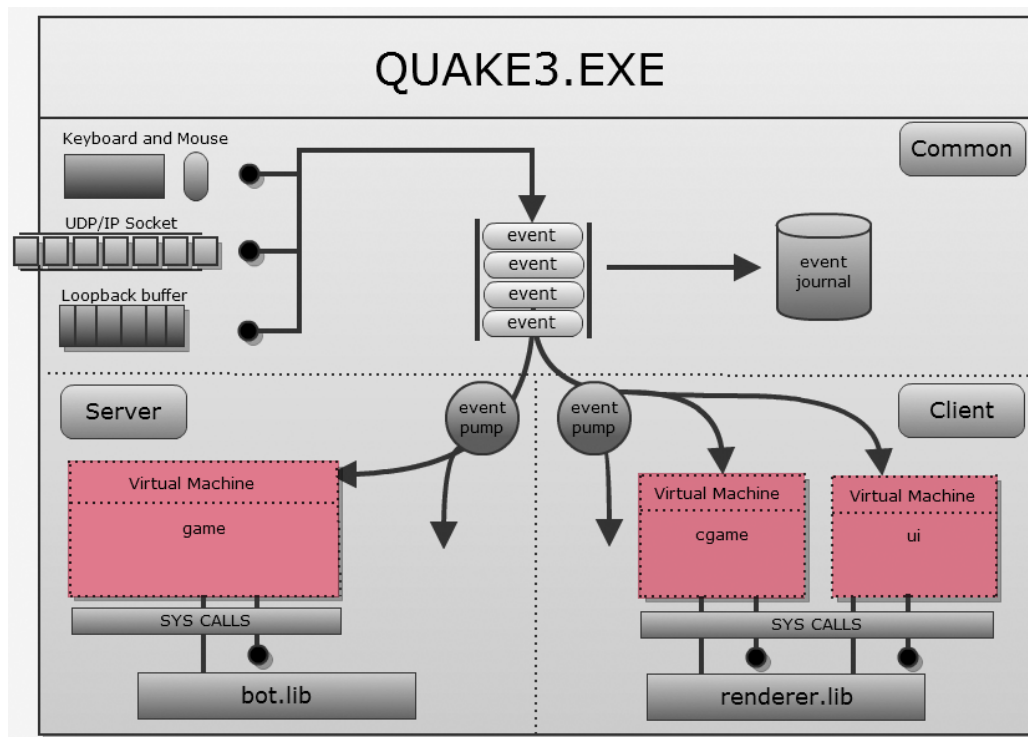


Figura 5: Q3 architecture virtual machines

Los módulos de *game*, *cgame* y *q3_ui* están escritos para Q3VM, y para acceder a ellos se ha de emplear la llamada de acceso *VM_Call(vm_t *vm, int callnum, ...)*. Esta llamada es interpretada por la Q3VM, que extrae las instrucciones que debe ejecutar según los parámetros de la llamada. El cliente que realiza la llamada no tiene conocimiento del contenido de la operación a la que llama, pero usando la encapsulación en la VMCall puede hacer uso de la operación.

El flujo de una VMCall sería así:

- La VMCall se construye con hasta 11 parámetros, y escribe cada valor de 4 bytes en el bytecode de la VM (*vm_t *vm*) con valores desde 0x00 hasta 0x26
- La VMCall pasa el id del mensaje localizado en 0x2A
- El interpreter comienza a interpretar los opcodes empezando en 0x2D
- *vmMain* es el encargado de hacer dispatch y enrutado del mensaje al método correspondiente al bytecode

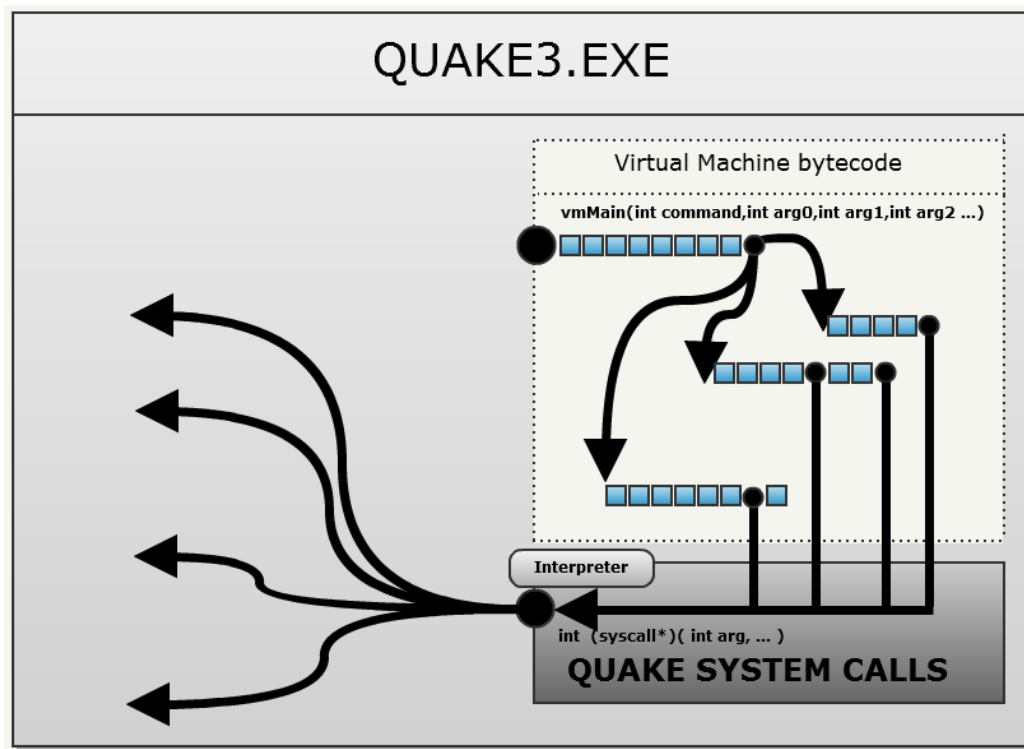


Figura 6: Q3 virtual machine Bytecode interpreter

Un ejemplo concreto de esto podemos observarlo en el *main* del código servidor:

```
// run the game simulation in chunks
while ( sv.timeResidual >= frameMsec ) {
    sv.timeResidual -= frameMsec;
    svs.time += frameMsec;

    // let everything in the world think and move
    VM_Call( gvm, GAME_RUN_FRAME, svs.time );
}
```

Tras realizar sus tareas previas, el servidor pasa el control a *game* mediante una llamada a su VM, pasándole el parámetro `GAME_RUN_FRAME` que indica al módulo *game* que tiene que hacer los cálculos necesarios para procesar el siguiente frame basándose en la referencia de tiempo. El código del servidor está

completamente abstraído de los cálculos para generar el siguiente frame.

[11]

Para la comunicación en el sentido opuesto, la Q3VM utiliza llamadas del sistema para comunicarse con Quake3. Estas llamadas del sistema están definidas en los ficheros cabecera del *Client VM*[12] y *Server VM*[13]

Además de utilizar este command pattern para ejecutar operaciones implementadas en código ejecutable por la Q3VM, las Q3VM también son capaces de ejecutar bytecode compilado en instrucciones x86 y código compilado para dll de Windows. [14]

Interpreter pattern: Quake Console

Una de las herramientas más potentes integradas en Q3 es la consola del desarrollador. Con ella el usuario puede introducir comandos para afectar a variables internas y configuraciones. Todas las operaciones de menús tienen un equivalente accesible por la consola, aunque su utilidad se extiende más allá, permitiendo incluso ser utilizada para mostrar mensajes informativos al usuario durante la partida de manera dinámica y estándar.

Para conseguir esto se hace uso de un patrón interpreter para procesar el comando y sus parámetros, y convertirlos en las instrucciones a ejecutar para modificar las propiedades del motor pertinentes.[15][16]

Cuando el cliente escribe un comando en su consola local se ejecuta en *cgame* la llamada para el intérprete de comandos utilizando una llamada del sistema (Q3VM ->Q3):

```
void CG_TargetCommand_f( void ) {
    int         targetNum;
    char        test[4];

    targetNum = CG_CrosshairPlayer();
    if (!targetNum ) {
        return;
    }

    trap_Argv( 1, test, 4 );
    trap_SendConsoleCommand( va( "gc %i %i", targetNum, atoi(
        test ) ) );
}
```

A pesar de que es un código que llama la atención por su buena estructura, también se debe de exponer que contiene algunos antipatrones en él.

Por ejemplo:

5. Calidad del Software

El software se distribuyó en una única release, ofreciendo el código fuente del motor y unas breves líneas de cómo compilar para Windows, Linux y Mac. No se proporciona más documentación que este breve *README*, aunque la gente que ha trabajado con este código liberado dice no haber tenido problema para familiarizarse con el código usando los comentarios y la claridad del estilo utilizado, con ficheros y clases bien diferenciadas.

No se acompaña el código, tampoco, con ningún tipo de test, por lo que cualquier modificación propia podría introducir cambios y regresiones en las features ya implementadas sin ningún tipo de manera de comprobarlo de manera automática. La filosofía en *id software* estaba basada en que el testing era una tarea más del programador sobre su propio código, además de realizarlo mediante playtesting diario para comprobar la integración. Automatizar las tareas de testing para un videojuego online es difícil, de manera que actualmente se sigue empleando el testing via playtesting entre jugadores reales, pero sí se echan en falta *unit tests* sobre módulos en los que podría encajar hacerlos.

Respecto al performance en Q3, se incluyen varias herramientas *in-game* para medir todo tipo de parámetros relacionados. Se pueden distinguir entre dos grandes grupos: las mediciones sobre el performance gráfico (como los fotogramas por segundo y *frame time*) y las mediciones sobre la red, accesibles mediante la variable *CG_LAGOMETER*. Con el Lag-o-Meter se pueden obtener gráficas sobre el estado de la conexión entre el cliente y el servidor, de esta manera podrían observarse cuellos de botella o problemas en los protocolos de red implementados.

6. Estado de la accesibilidad en el proyecto

Al ser un juego de acción rápida contra oponentes por Internet no existe ningún tipo de consideración para la accesibilidad de ningún tipo. Aún así, existen algunas features que se podrían haber incluido para mejorar la accesibilidad del

software como: paletas de colores, ajustes de brillo y contraste extremos para usuarios con problemas de visión, e indicadores visuales y subtítulos para usuarios con problemas auditivos.

7. Conclusiones

TODO

Bibliografía

- [1] Google *Ejemplo Bibliografía*. URL: <http://www.google.com>

- [2] Quake III Arena *Quake Wikia*. URL: http://quake.wikia.com/wiki/Quake_III_Arena

- [3] id tech 3 *Giant Bomb*. URL: <https://www.giantbomb.com/id-tech-3/3015-1918/>

- [4] Quake III Arena Source Code *Github*. URL: <https://github.com/id-Software/Quake-III-Arena>

- [5] ioquake3 *ioquake3*. URL: <https://ioquake3.org/>

- [6] John Carmack's 14 Oct 1998 .plan (Archived from original). *John Carmack*. URL: https://raw.githubusercontent.com/ESWAT/john-carmack-plan-archive/master/by_day/johnc_plan_19981014.txt

- [7] Quake 3 Source Code Review. *Fabien Sanglard*. URL: <http://fabiansanglard.net/quake3/index.php>

- [8] Quake 3 Main. *id software*. URL: https://raw.githubusercontent.com/id-Software/Quake-III-Arena/master/code/win32/win_main.c

- [9] Quake 3 Loop Unrolled. *Fabien Sanglard*. URL: http://fabiansanglard.net/quake3/q3_loop_unrolled.txt

- [10] Quake 3 Virtual Machines. *phaethon*. URL: https://www.icculus.org/homepages/phaethon/q3mc/q3vm_specs.html

- [11] Quake 3 Server Main. *id software*. URL: https://raw.githubusercontent.com/id-Software/Quake-III-Arena/master/code/server/sv_main.c
- [12] Quake 3 Client Main. *id software*. URL: https://raw.githubusercontent.com/id-Software/Quake-III-Arena/master/code/game/g_public.h
- [13] Quake 3 Server VM. *id software*. URL: https://raw.githubusercontent.com/id-Software/Quake-III-Arena/master/code/cgame/cg_public.h
- [14] Quake 3 Virtual Machine. *Fabien Sanglard*. URL: <http://fabiansanglard.net/quake3/qvm.php>
- [15] Quake 3 Console. *id software*. URL: https://raw.githubusercontent.com/id-Software/Quake-III-Arena/master/code/client/cl_console.c
- [16] Quake 3 Console Commands. *id software*. URL: https://raw.githubusercontent.com/id-Software/Quake-III-Arena/master/code/cgame/cg_consolecmds.c