Capítulo 7
La seguridad de las comunicaciones inalámbricas

1. Presentación

La transmisión de información digital cada vez está más presente en el día a día de las personas. Con esta evolución aparecen las limitaciones, porque los datos transmitidos pueden ser críticos desde el punto de vista de la seguridad o a nivel personal.

Para satisfacer las demandas actuales, las comunicaciones deben ser fiables, seguras, rápidas y prácticas. Dos tecnologías principales compiten para cumplir con estas limitaciones:

– Conexiones alámbricas (cobre, fibra óptica, etc.).

– Enlaces por ondas de radio (Wi-Fi, Bluetooth, etc.).

En el aspecto práctico, la elección se centra obviamente en los enlaces inalámbricos que permiten, como su nombre indica, evitar la conexión de un cable para transmitir información.

La desventaja es que una transmisión de radio se puede escuchar usando cualquier receptor legítimo o pirata. Desde las personas con muy pocos conocimientos hasta especialistas, pueden comprometer las comunicaciones de radio con equipos sencillos listos para usar y que se encuentran sin dificultad en Internet o dispositivos sofisticados y eficientes, reservados para profesionales (si aceptamos llamar 'profesionales' a los piratas de alto nivel).

En la creciente expansión de las comunicaciones inalámbricas, encontramos todos los medios de comunicación tradicionales como el teléfono móvil, wifi, etc. Pero un área en particular se está volviendo cada vez más importante: la IoT (*Internet of Things*: los objetos conectados a Internet).

2. Los objetos conectados

Estos objetos se convierten en un tema muy amplio. La moda actual es conectar todos los accesorios que nos rodean. Pero, ¿qué es un IoT? Un objeto que originalmente tiene una función sencilla y concreta y al que le añadimos la posibilidad de enviar información digital a equipos informáticos.

Los ejemplos son numerosos. Desde la aplicación simple, a veces excéntrica, hasta la aplicación que realmente aporta algo; a los diseñadores no les falta imaginación. No vamos a hacer aquí un inventario de las novedades, sino que nos vamos a centrar en algunos puntos concretos de las tecnologías utilizadas. La primera observación es que las comunicaciones son inalámbricas, por lo tanto, utilizan transmisiones de radio digital. Esta tecnología no es nueva, pero sus evoluciones y su uso intensivo son realmente de nuestro tiempo.

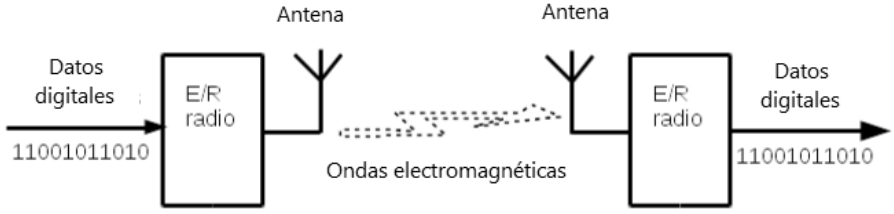
Por lo tanto, algunas nociones son esenciales para comprenderlas y de esta manera dominar mejor las herramientas de prueba, análisis y piratería. Un buen conocimiento permite el desarrollo de estas herramientas, tanto de software como de hardware.

3. Las transmisiones de radio

Evidentemente, aquí el objetivo no es hacer una presentación larga y completa de las técnicas de transmisión de radio, que sin duda sería muy interesante, sino sentar las bases técnicas y el vocabulario utilizado.

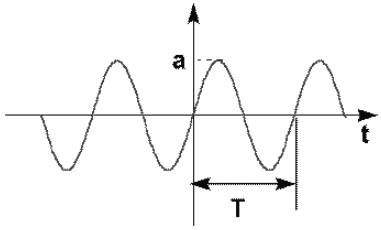
Una transmisión de radio permite enviar y recibir información (digital para nuestro estudio) desde el punto A hasta el punto B sin soporte físico. Las ondas electromagnéticas hacen posible esta comunicación. Por lo tanto, estamos en presencia de dos dispositivos tecnológicos denominados emisor-receptor de radio.

El esquema es muy simple:



Emisor-receptor de radio

La onda electromagnética básica es sinusoidal:



Señal sinusoidal (fuente Internet)

Para lograr transmitir información, es necesario modificar un poco esta onda para diferenciar entre los valores que se envían (en el caso más trivial, el "0" y el "1" lógicos). Al analizar una señal sinusoidal, podemos ver que se caracteriza por su amplitud, su frecuencia y su fase. Desde un punto de vista matemático:

$$S(t) = A \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

Ecuación de una señal sinusoidal

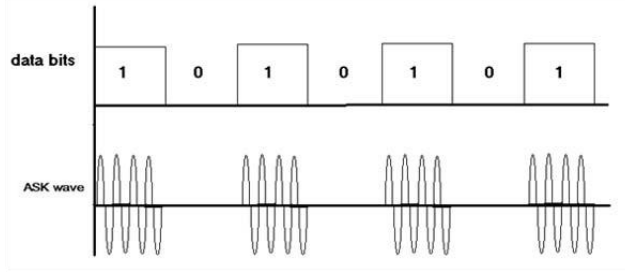
Por lo tanto, es posible modificar su amplitud, su frecuencia, su fase o incluso combinar dos parámetros en función de los datos digitales que se van a transmitir. Decimos que estamos modulando la señal. De hecho, es la famosa función de "modulación" de la que oímos hablar en todas las comunicaciones por radio.

En nuestro ejemplo trivial anterior, podemos imaginar una modulación muy sencilla:

– Se transmite un 0 lógico => A = 0, amplitud nula.

– Se transmite un 1 lógico => A = 1, máxima amplitud.

De esta manera obtenemos una modulación llamada ASK (*Amplitude Shift Keying*, modulación por saltos de amplitud) y más exactamente, en nuestro caso, OO-ASK (*On OffASK*), porque modulamos todo o nada.



Modulación OO-ASK (fuente: www.engineersgarage.com)

Esta tecnología es muy fácil de implementar, pero tiene algunos inconvenientes como la fiabilidad, la velocidad y el alcance.

La escucha y la piratería son muy sencillas y rápidas, ya que no hay dificultades estructurales en el hardware utilizado.

La tasa binaria es baja porque solo se transmite un bit a la vez.

La distancia entre el transmisor y el receptor es modesta, ya que la potencia de transmisión es limitada y aquí no se utiliza ninguna técnica de espectro ampliado.

La modulación ASK todavía se usa en muchas comunicaciones donde la seguridad a nivel de enlace físico no es realmente una prioridad.

Para mejorar las tres restricciones mencionadas anteriormente, es posible utilizar otras técnicas de modulación que proporcionen características muy superiores a las comunicaciones. Estos son algunos de los ejemplos más comunes entre docenas de tecnologías que tienen mejor rendimiento y son más fiables unas que otras.

– FSK: *Frequency Shift Keying*
– PSK: *Phase Shift Keying*
– QPSK: *Quadrature Phase Shift Keying*
– GFSK: *Gaussian Frequency Shift Keying*
– QAM: *Quadrature Amplitude Modulation*

Y para el espectro ampliado:

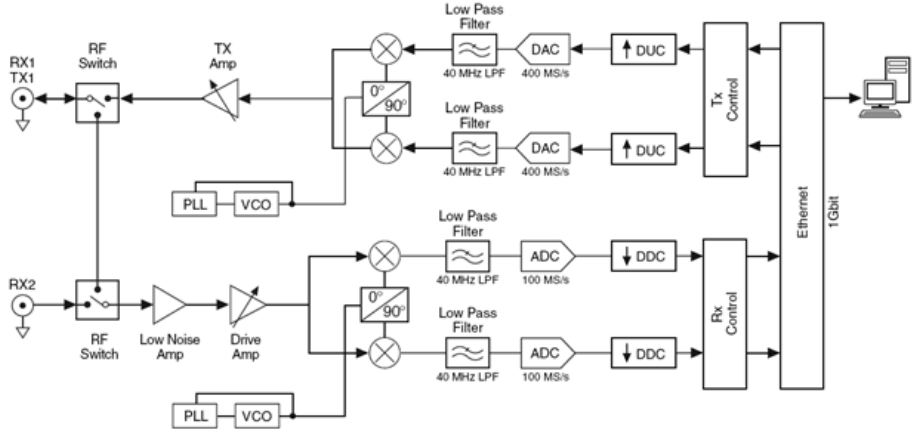
– OFDM: *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*
– DSSS: *Direct Sequence Spread Spectrum*

Como se ha mencionado anteriormente, el propósito de este capítulo no es dar un curso sobre comunicaciones por radio, por lo que respecta a esta sección lo dejaremos aquí. Pero, ¿por qué interesarse por estas nociones científicas y tecnológicas? Sencillamente porque, aunque ya existen muchos equipos y herramientas informáticas, normalmente es obligatorio ensuaciarse las manos y es imprescindible modificar o crear herramientas para adaptarlas a situaciones inéditas.

Existe una tecnología muy interesante para esto, la conversión directa en emisores-receptores digitales.

4. La radio de software

Con el progreso tecnológico, los circuitos electrónicos ahora pueden convertir frecuencias de radio en banda base en rangos de frecuencia relativamente amplios. Y lo que es aún más importante, los convertidores de analógico a digital de gran velocidad permiten un escaneado de alta frecuencia que puede cubrir canales grandes, o incluso varios al mismo tiempo. Con estos circuitos eficientes y económicos, la parte relativa al hardware se convierte en algo muy sencillo y prácticamente genérico, independientemente de cuál sea la comunicación por radio de que se trate. El diagrama principal de un receptor como este, se muestra a continuación:



Emisor-receptor digital NI USRP 2920

Se puede ver que la parte del hardware es relativamente sencilla y que su estructura es bastante genérica. En realidad, esta tecnología crea (recibe) o gestiona (emite) un flujo importante de datos digitales. Esto es lo más interesante, pero también lo más complejo desde el punto de vista del procesamiento digital.

Los datos digitales son la representación de los escaneados resultantes de la conversión analógico/digital que representan el valor real e imaginario de un número complejo, imagen de un valor instantáneo de la señal de banda base. Sin entrar en detalles matemáticos, esta representación permite modular o demodular todas las comunicaciones posibles. Al disponer de un dispositivo de este tipo, solo tiene que establecer el procesamiento digital adecuado para crear "radios basadas en software". Por supuesto, existen programas informáticos listos para usar que permiten la recepción y emisión sin ningún esfuerzo, como, por ejemplo, clonar y reproducir un canal o incluso escuchar estaciones de FM, etc.

La gran ventaja es poder intervenir nosotros mismos para adaptar el procesamiento digital a nuestras necesidades. El diseño o modificación puede ser bastante difícil, pero más o menos factible dependiendo de su nivel de conocimiento sobre la materia, como veremos un poco más adelante en este capítulo.

5. El hardware disponible

La realización de la parte electrónica puede ser una operación posible, pero se trata de un tema irrelevante. Hay suficiente hardware disponible, con diversas prestaciones y precios, para poder evitar la fase de fabricación. A continuación, se presenta una lista no exhaustiva del más utilizado.

5.1 La llave RTL-SDR

SDR: *Software-Defined Radio* (radio definida por software)

Este receptor DVB-T es un "dongle" esencial para principiantes. Su precio es muy asequible, de 10 a 30 euros, y sus características permiten ciertas manipulaciones. Su gran defecto es que no permite la emisión.

Llave RTL-SDR

Sus principales características son las siguientes:

– Banda de frecuencia: 30 - 1700 MHz.

– Muestreo: 2 MHz.

Gracias a estos parámetros, este circuito permite escuchar y decodificar muchas comunicaciones como radios AM/FM, controles remotos de 433Mhs 868 MHz y muchos otros.

Sin embargo, su límite de frecuencia (alrededor de 1,7-2,0 GHz) no permite llegar a la banda ISM (industrial, científica y médica) de 2,4 GHz donde se producen muchas comunicaciones como el Wi-Fi, el Bluetooth, NRF24, el ZigBee, etc.

5.2 El HackRF One

El principal interés de HackRF es que permite emitir. Tiene unas prestaciones superiores a la llave TNT, lo que hace posible escuchar o emitir comunicaciones prácticamente en todas las bandas ISM clásicas. Su precio oscila entre los 300 y 400 euros.

El HackRF One

Sus características son las siguientes:

- Half-duplex transceiver (Emisor Half-duplex).
- Operating frequency: 10 MHz a 6 GHz (rango de frecuencia de trabajo).
- Supported simples rates: 2 Msps a 20 Msps (cuadratura) (frecuencias de muestreo).
- Resolution: 8 bits.
- Interface: High Speed USB (with USB Micro-B connector).
- Power supply: USB bus power.

La primera característica indica que el HackRF es un emisor half-duplex (emisión o recepción, pero no ambas a la vez), lo que supone una desventaja para determinadas aplicaciones como la integración en una red o la puesta en marcha de un Man In The Middle.

Potencia de transmisión:

- 10 MHz to 2150 MHz 5 dBm to 15 dBm, generally increasing as frequency decreases.
- 2150 MHz to 2750 MHz: 13 dBm to 15 dBm.
- 2750 MHz to 4000 MHz: 0 dBm to 5 dBm, increasing as frequency decreases.
- 4000 MHz to 6000 MHz: -10 dBm to 0 dBm, generally increasing as frequency decreases.

Como puede comprobar, la potencia de la parte emisora no permite actuar en comunicaciones extendidas. Es suficiente para realizar pruebas y depuraciones en local que se pueden utilizar con otras soluciones más potentes.

Capítulo 3
Ingeniería inversa

1. Introducción

1.1 Presentación

La técnica de ingeniería inversa (*reverse engineering* en inglés) consiste en estudiar un objeto (en nuestro caso un malware) para comprender su funcionamiento. En informática, eso se traduce por analizar el código de máquina de un programa; en nuestro caso, un malware. Dado que los malwares no se difunden con su código fuente y que no es posible encontrar códigos de malwares desarrollados en C o en C++, es necesario utilizar técnicas de ingeniería inversa para estudiar su funcionamiento interno. El analista estudiará el código en ensamblador del malware, función tras función.

Este código en ensamblador está disponible desensamblando el archivo binario.

El código en ensamblador no es tan fácil de leer como el código fuente. En efecto, se trata de un lenguaje de bajo nivel que manipula directamente instrucciones CPU y la memoria física.

Vamos a interesarnos principalmente en el ensamblador x86 (de 32 bits), aunque una pequeña sección presentará las principales diferencias entre el x86 y el x64 (de 64 bits) desde el punto de vista de la ingeniería inversa. En la actualidad, el 80 % de malwares están compilados en 32 bits, para poder impactar en el mayor número de máquinas posible (los sistemas Windows de 64 bits admiten los archivos binarios en 32 bits, pero no a la inversa).

Este capítulo explicará cómo leer e interpretar el ensamblador, las herramientas que se utilizan para ayudar en el análisis, así como trucos para facilitarlo.

1.2 Legislación

En muchos países, las técnicas de ingeniería inversa están reguladas por las leyes. Se pueden hacer muchos usos de esta disciplina:

– Espionaje industrial: ciertas empresas utilizan la ingeniería inversa para comprender los productos desarrollados por sus competidores y robar su conocimientos técnicos.
– Destrucción de protección anticopia: algunas personas utilizan estas técnicas para poder copiar videojuegos o copiar música bajo la protección de un sistema anticopia (DRM, *Digital Rights Management*).
– Interoperabilidad: los desarrolladores utilizan la ingeniería inversa para reescribir programas de forma que los productos puedan utilizarse en plataformas no compatibles con un fabricante (es el caso de muchos controladores de Linux).

Esta lista no es, evidentemente, exhaustiva, aunque permite comprender que esta técnica puede utilizarse para buenos o malos propósitos.

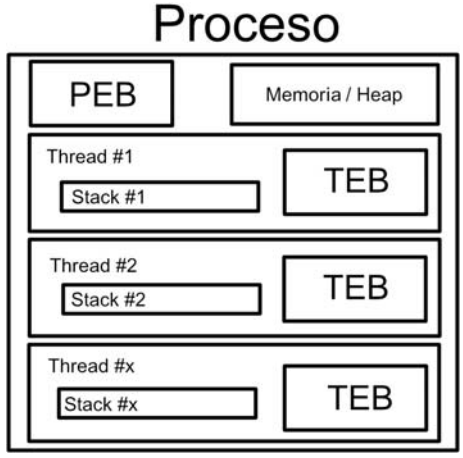
El uso de las técnicas de ingeniería inversa para analizar malwares se ha convertido en una práctica perfectamente legal. He aquí un fragmento del artículo en castellano que corresponde a nuestro caso (Artículo 96 de la ley de propiedad intelectual):

«La protección prevista en la presente Ley se aplicará a cualquier forma de expresión de un programa de ordenador (…) salvo aquellas creadas con el fin de ocasionar efectos nocivos a un sistema informático».

2. ¿Qué es un proceso de Windows?

2.1 Introducción

Cuando se ejecuta un proceso en Windows, el sistema operativo va a crear automáticamente un espacio en la memoria para este y un primer subproceso (*thread*). Todos los procesos en ejecución disponen de una estructura llamada Process Environment Block (PEB) que los describe. Cada proceso dispone de uno o vario threads. Cada thread posee su propia pila (*stack*, ver capítulo Técnicas de ofuscación) y una estructura que lo define llamada TEB (*Thread Environment Block*). Los threads pueden acceder a la memoria del proceso. He aquí un esquema que resume un proceso:



2.2 Process Environment Block

Se puede leer el contenido del PEB de un proceso. He aquí un ejemplo de PEB de un proceso cmd.exe visto por el depurador de Microsoft: *WinDBG*. La dirección de memoria en la que se encontrará la estructura PEB esta almacenada en **$PEB**:

```
0:001> r $PEB
$peb=0000000301292000
```

A partir de esta dirección se puede comprobar el contenido de la estructura PEB:

```
0:001> dt _PEB 0000000301292000
ntdll!_PEB
   +0x000 InheritedAddressSpace : 0 ''
   +0x001 ReadImageFileExecOptions : 0 ''
   +0x002 BeingDebugged    : 0x1 ''
   +0x003 BitField         : 0x4 ''
   +0x003 ImageUsesLargePages : 0y0
   +0x003 IsProtectedProcess : 0y0
   +0x003 IsImageDynamicallyRelocated : 0y1
   +0x003 SkipPatchingUser32Forwarders : 0y0
   +0x003 IsPackagedProcess : 0y0
   +0x003 IsAppContainer   : 0y0
   +0x003 IsProtectedProcessLight : 0y0
   +0x003 IsLongPathAwareProcess : 0y0
   +0x004 Padding0         : [4]  ""
   +0x008 Mutant           : 0xffffffff`ffffffff Void
   +0x010 ImageBaseAddress : 0x00007ff7`da850000 Void
   +0x018 Ldr              : 0x00007ffe`98e753c0 _PEB_LDR_DATA
   +0x020 ProcessParameters : 0x000001e6`84de1be0 _RTL_USER_PROCESS_PARAMETERS
   +0x028 SubSystemData    : (null)
   +0x030 ProcessHeap      : 0x000001e6`84de0000 Void
   +0x038 FastPebLock      : 0x00007ffe`98e74fc0 _RTL_CRITICAL_SECTION
[...]
```

Por ejemplo, en el offset 0x020 se encuentra la estructura _RTL_USER_PROCESS_PARAMETERS, que contiene los parámetros del proceso. Esta se encuentra en la dirección 0x000001e6`84de1be0. He aquí su contenido:

```
0:001> dt _RTL_USER_PROCESS_PARAMETERS 0x000001e6`84de1be0
ntdll!_RTL_USER_PROCESS_PARAMETERS
   +0x000 MaximumLength    : 0x788
   +0x004 Length           : 0x788
   +0x008 Flags            : 0x6001
   +0x00c DebugFlags       : 0
   +0x010 ConsoleHandle    : 0x00000000`00000050 Void
   +0x018 ConsoleFlags     : 0
   +0x020 StandardInput    : 0x00000000`00000054 Void
   +0x028 StandardOutput   : 0x00000000`00000058 Void
   +0x030 StandardError    : 0x00000000`0000005c Void
   +0x038 CurrentDirectory : _CURDIR
   +0x050 DllPath          : _UNICODE_STRING ""
   +0x060 ImagePathName    : _UNICODE_STRING "C:\WINDOWS\system32\cmd.exe"
   +0x070 CommandLine      : _UNICODE_STRING ""C:\WINDOWS\system32\cmd.exe" "
   +0x080 Environment      : 0x000001e6`84df6380 Void
```

Como se puede comprobar, la línea de comandos está disponible en el desplazamiento (*offset*) 0x70 de esta estructura en el proceso que se está ejecutando.

WinDBG proporciona el comando **!PEB** que lee y formatea todos los elementos pertinentes del PEB y los muestra al usuario.

2.3 Thread Environment Block

El mismo ejercicio que para el PEB se puede realizar con la estructura TEB:

```
0:001> r $TEB
$teb=0000000301299000
0:001> dt _TEB 0000000301299000
ntdll!_TEB
   +0x000 NtTib            : _NT_TIB
   +0x038 EnvironmentPointer : (null)
   +0x040 ClientId         : _CLIENT_ID
   +0x050 ActiveRpcHandle  : (null)
   +0x058 ThreadLocalStoragePointer : (null)
   +0x060 ProcessEnvironmentBlock : 0x00000003`01292000 _PEB
   +0x068 LastErrorValue   : 0
   +0x06c CountOfOwnedCriticalSections : 0
   +0x070 CsrClientThread  : (null)
   +0x078 Win32ThreadInfo  : (null)
   +0x080 User32Reserved   : [26] 0
```

Es interesante resaltar que en el offset 0x60 se encuentra la dirección del PEB vista anteriormente. En el caso de un proceso de 32 bits el offset es de 0x30. Así es como se puede obtener la dirección PEB mediante programación.

3. Ensamblador x86

3.1 Registros

El x86 es una arquitectura en la que el procesador utiliza principalmente registros de 32 bits para almacenar información. Cada registro contiene un número codificado en 32 bits, aunque este número puede verse como dos de 16 bits o 4 de 8 bits. Para mejorar su comprensión, ilustraremos este punto con un ejemplo.

El número hexadecimal 0xC0DEBA5E es un entero de 32 bits. En efecto, puede representarse por los siguientes 32 bits:

Hexadecimal	C	0	D	E	B	A	5	E
Binario	1100	0000	1101	1110	1011	1010	0101	1110

Puede verse como dos enteros de 16 bits, 0xC0DE y 0xBA5E, o como cuatro enteros de 8 bits, 0xC0, 0xDE, 0xBA y 0x5E. Es importante habituarse a realizar este pequeño ejercicio, pues el ensamblador hace a menudo un uso abusivo de estas distintas representaciones.

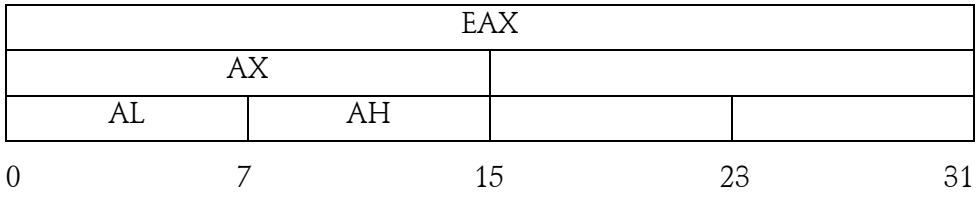
Para facilitar la explicación, se utilizan comúnmente términos específicos para distinguir estos números de distintos tamaños: un byte es un número de 8 bits; una palabra es un número de 16 bits, es decir, 2 bytes; un double es un número de 32 bits, es decir, dos palabras o 4 bytes.

Las arquitecturas x86 presentan principalmente 16 registros diferentes que se dividen en cinco tipos: registros generales, registros de índice, registros de punteros, registros de segmentos y por último los registros de estado o banderas (*flags* en inglés).

Registros generales

Existen cuatro registros de este tipo: EAX, EBX, ECX y EDX.

Estos registros suman 32 bits, pero pueden descomponerse en subregistros más pequeños. En este caso, su notación cambia. He aquí un ejemplo para EAX:



Las cifras debajo de la ruta corresponden a los bits del registro. La E presente al inicio de cada registro corresponde a *Extended* (Extendido). Los 32 bits son una especie de extensión de los 16 bits, de modo que los registros mantienen los mismos nombres agregando una E delante.

Como anécdota diremos que estas notaciones bárbaras provienen de las primeras arquitecturas de 8 bits, que incluían 4 registros generales: A, B, C y D. Con la aparición de las máquinas de 16 bits, se utilizaba la notación AX, BX, CX y DX, donde la X significaba *eXtended*. Cada uno de estos registros se descomponía en dos registros de 8 bits: Low para la parte inferior y High para la superior; de ahí las notaciones AL y AH. Cuando se pasó a una arquitectura de 32 bits, se utilizó el mismo mecanismo: se agregó una E de ***E****xtended* como prefijo de todos estos registros para mantener la coherencia con las notaciones anteriores.

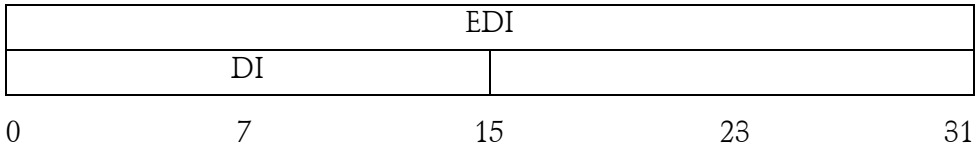
Generalmente, estos registros tienen un uso específico. Sin embargo, tenga en cuenta que su uso puede cambiar y, por lo tanto, no está garantizado.

El registro EAX se utiliza para realizar cálculos. El registro EBX se utiliza a menudo para acceder a matrices (*arrays*). El registro ECX se usa frecuentemente como contador de bucles. EDX se utiliza como extensión de EAX para almacenar más información virtualmente.

Registros de índice

Existen dos registros de índice: EDI y ESI.

Estos registros utilizan 32 bits, aunque pueden igualmente descomponerse en subregistros. He aquí un ejemplo para EDI:



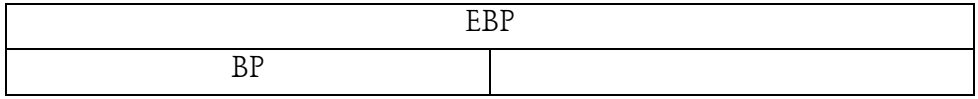
Las cifras por debajo representan el número de bits.

Estos registros se utilizan por lo general para manipular cadenas de caracteres o copias en memoria; la D de EDI significa Destino (*Destination*) y la S de ESI significa Origen o fuente (*Source*). De este modo, cuando se realiza una copia en memoria podemos observar a menudo que EDI representa el puntero hacia la zona de memoria de destino y ESI representa el puntero hacia la zona de memoria de origen. Cabe destacar que, si bien los compiladores respetan a menudo esta convención, no siempre ocurre así.

Registros de punteros

Existen tres registros de punteros: EBP, ESP y EIP.

Estos registros pueden igualmente descomponerse en subregistros. He aquí un ejemplo para el registro EBP:



0 7 15 23 31

Las cifras representan los bits del registro. Estos registros son registros particulares. He aquí el uso de cada uno de ellos:

– El registro EBP contiene una dirección que apunta a la base de la pila, es decir, el límite entre los argumentos y las variables locales. Este registro permite acceder, generalmente, a los datos apilados en memoria en la pila (*stack*). EBP permite recuperar datos en memoria.
– El registro ESP contiene la dirección actual de la parte superior de la pila. Este puntero designa la zona de la pila donde se copiarán los datos para ponerlos en la memoria de pila. ESP permite almacenar datos en memoria.
– El registro EIP contiene la dirección de la siguiente instrucción para ejecutar.

Estos registros se utilizan de manera implícita y generalmente no se pueden modificar por las funciones del programa.

Registros de segmentos

Existen seis registros de segmentos: CS, DS, ES, FS, GS, SS.

Estos registros son de 16 bits.