

José Luis Aznar Lahoz*

GESTIÓN DEL TIEMPO DE
TRANSMISIÓN EN LINK-16

[Visitar la WEB](#)

[Recibir BOLETÍN ELECTRÓNICO](#)

GESTIÓN DEL TIEMPO DE TRANSMISIÓN EN LINK-16

Resumen:

Hasta hace, aproximadamente, no más de un cuarto de siglo, las comunicaciones militares en el teatro de operaciones se reducían, principalmente, a la transmisión de voz vía radio. Aunque estos sistemas se continúan utilizando, en la era de las nuevas tecnologías, se hace necesario disponer de otro tipo de comunicaciones que aseguren la transmisión de los datos y que hagan un uso más eficaz del espectro de radiofrecuencia. Nace de esta forma los sistemas Link, de los que, en estos momentos, el más potente y de un mayor uso es Link-16. El activo crítico de más complicada gestión que manipula Link-16 es el tiempo de transmisión, dividido en pequeños slots utilizando técnicas de Time Division Multiple Access (TDMA) y permitiendo saltos de frecuencias, con lo que se crean redes apiladas de transmisión. A la dificultad de administración del sistema, se le añade la necesidad de sincronizar todos los nodos mediante equipos que realicen la función de Network Time Reference (NTR). Esta gestión resulta muy compleja, aunque los equipos son lo bastante precisos como para mantener durante horas la sincronización una vez obtenida. Finalmente, algunos paquetes deben ser confirmados en recepción y asegurar que esta ha sido realizada. Se abre una nueva era en las comunicaciones tácticas en el campo de batalla cuyo límite se está actualizando cada día.

Abstract:

Until, approximately, no more than a quarter century, military communications in the theater of operations were reduced mainly to radio voice transmission. Although those systems are still in use, in the era of new technologies, it becomes necessary to have other communications, to ensure the transmission of data and to make more efficient use of the RF spectrum. Link systems are born in this way, of which, at present, the most powerful and greater use is Link-16. Transmission time is the Link-16 critic asset with more complicated management. It is divided into small slots using Time Division Multiple Access (TDMA) techniques and allowing frequency hopping, which creates stacked transmission networks. The need to synchronize all nodes with Network Time References (NTR)

***NOTA:** Las ideas contenidas en los **Documentos de Opinión** son de responsabilidad de sus autores, sin que reflejen, necesariamente, el pensamiento del IEEE o del Ministerio de Defensa.

function is added to the difficulty of managing the system. This management is very complicated, although the equipment is precise enough to maintain synchronization for hours once obtained. Finally, reception of some packets must be confirmed to ensure that this has been done successfully. A new era of communication tactics in the battlefield, whose limit is being updated every day, is open.

Palabras clave:

Link, Time Division Multiple Access, TDMA, redes apiladas, slot, jitter, sincronización gruesa, sincronización fina, tiempo de propagación, Single Pulse, Double Pulse, mensaje, empaquetado del mensaje, nodelessness, Network Time Referencie, NTR, Recepción/Confirmación, R/C.

Keywords:

Link, Time Division Multiple Access, TDMA, stacked nets, slot, jitter, Sync, Time Refine, propagation, Single Pulse, Double Pulse, message, message packing, nodelessness, Network Time Referencie, NTR, Receipt/Compliance, R/C.

INTRODUCCIÓN

En el complicado escenario donde se desarrollan los conflictos bélicos actuales intervienen miles de protagonistas de todos los ejércitos, y con elevada probabilidad, de muy diferentes naciones, que entre otras necesidades, sienten la obligación de compartir información de las acciones militares en curso.

Es evidente que esta transmisión de información no puede realizarse, actualmente, de la forma en que se estaba realizando tradicionalmente, hasta hace un cuarto de siglo. No obstante, para según qué escenarios, se sigue utilizando y, esta, sigue siendo útil.

La saturación del teatro de operaciones, que supone la confluencia de miles de comunicaciones distintas, dentro de los diferentes espectros, y la necesidad de interoperar entre todos ellos para poder alcanzar el objetivo final, hacen pensar en un sistema que sea capaz de ofrecer esta alternativa. Link-16 es la denominación del “nuevo” enlace de datos tácticos que se introdujo en 1994 en las operaciones de la Marina de los Estados Unidos, y que se ha extendido al resto de ejércitos, los servicios conjuntos, ejércitos de países aliados y, en definitiva, a las fuerzas de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN).

Link-16 es una evolución de Link-11 y Link-4A proporcionando algunas mejoras técnicas y operativas a las capacidades de enlace de datos tácticos existentes. Con Link-16, diferentes plataformas como aviones de combate, buques de la Armada y fuerzas terrestres (figura 1) pueden intercambiar su información en tiempo real de un modo seguro¹.

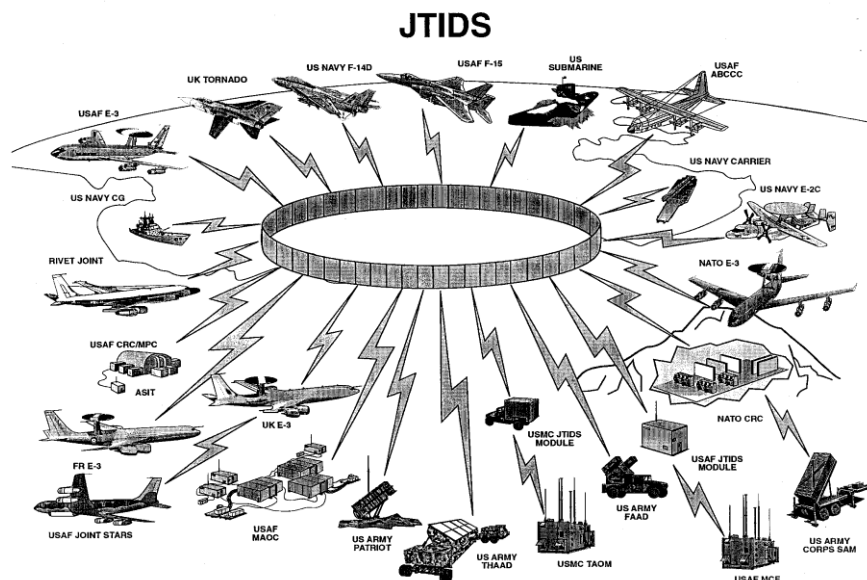


Figura 1. Transmisión de información en Link-16.

¹ U.S. Navy Center For Tactical Systems Interoperability, *Understanding Link-16, A Guidebook for New Users*, San Diego, U.S.: Logicon, Inc. Tactical Systems Division, December 1998.

Link-16 se define como un servicio digital en un Acuerdo de Normalización de la OTAN, STANAG 5516, ofreciendo estas posibilidades a través de la compartición de diferentes redes, configuradas en anillo, con mejoras muy significativas sobre sistemas anteriores como pueden ser: nodelessness, resistencia al jamming, flexibilidad en las comunicaciones, transmisión separada y segura de los datos, escalable en número de participantes y en capacidad de transmisión de datos, con funciones de navegación de red y voz segura².

Link-16 también es compatible con el intercambio de mensajes de texto, imágenes y dos canales de voz digitales de 2,4 kbit/s y/o 16 kbit/s en cualquier combinación.

La asignación del tiempo de transmisión, recurso escaso y de gestión crítica, de cada uno de los participantes se realiza mediante Time Division Multiple Access (TDMA), con slots de tiempo de tamaño fijo y preasignado.

ARQUITECTURA LINK-16

Link-16 trabaja parcialmente en la banda Lx del espectro UHF de radiofrecuencia, más exactamente entre 960 y 1215 MHz³, utilizando 51 frecuencias dentro del rango⁴. Esto limita la transmisión de tal forma que los equipos emisor y receptor deben encontrarse en la línea de visión, *Line Of Sight (LOS)*⁴. Esta eventualidad obliga a la utilización de repetidores de señal, que permitan alcanzar más allá del campo de visión, como por ejemplo el sistema AWACS (figura 2).

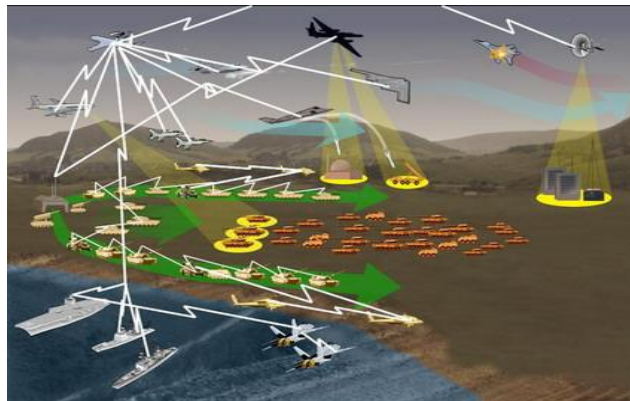


Figura 2. Utilización de sistema AWACS como repetidor de señal.

² Program Executive Officer, Command, Control, Communications, Computers, Intelligence and Space, *Understanding Link-16, A Guidebook for United States Navy and States Marines Corps Operators*, San Diego, California, U.S.A.: Northop Grumman, Defense Mission Systems Division, September 2004.

³ GUPTA, D., «Concurrent Multi-net Link-16 Digital-RF Receiver» HYPRES., INC., 2009. Disponible en: <http://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/185265>. [Último acceso: 23 February 2014].

⁴ ABRAMS, J. et al, *Introduction to Tactical Digital Information Link J and Quick Reference Guide*, Doctrine Digital Library, June 2000.

La arquitectura TDMA, en Link-16, utiliza tiempo entrelazando para proporcionar múltiples y, aparentemente, simultáneas redes de comunicaciones. Los equipos de transmisión tienen preasignados conjuntos de intervalos de tiempo en el que se transmiten los datos y en el que pueda recibir datos de otras unidades. Cada slot de tiempo tiene una duración de $1/128$ segundos o 7,8125 milisegundos.

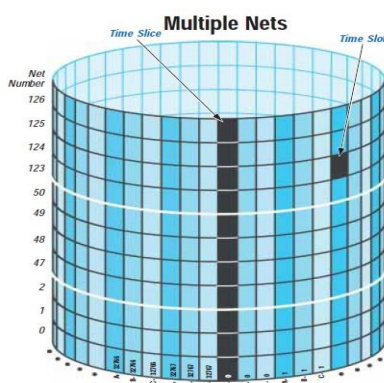
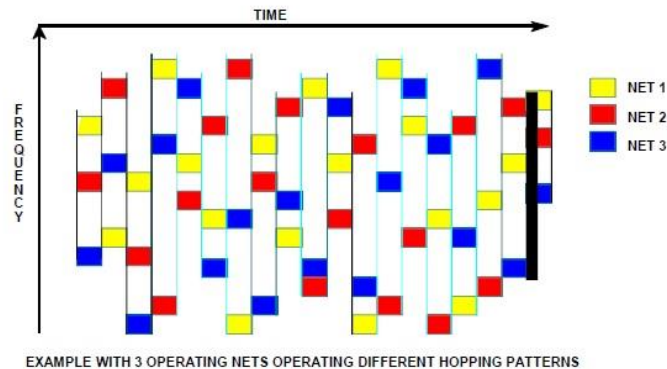


Figura 3. Redes Múltiples.

El sistema permite apilar redes (figura 3), admitiendo, de esta forma, que los slots de tiempo puedan ser utilizados de forma redundante, transmitiendo los datos en cada red en diferentes frecuencias. Las redes quedan definidas por los diferentes patrones de salto. Las 51 frecuencias disponibles para la transmisión no permanecen constantes durante el slot de tiempo⁵, sino que cambian rápidamente, cada 13 microsegundos, o lo que es lo mismo, aproximadamente unas 600 veces por segundo, según un patrón pseudo-aleatorio determinado. Esta técnica, denominada espectro ensanchado por salto de frecuencia, *frequency-hopping spread spectrum (FHSS)*, fue desarrollada y patentada, durante la Segunda Guerra Mundial, por Hedy Lamarr⁶, famosa por ser una de las más bellas actrices de la historia de Hollywood y no tan conocida como inventora y brillante ingeniera de telecomunicaciones. Lamarr se inspiró en los saltos de frecuencias, 88 diferentes, de las notas producidas al tocar las 88 teclas del piano. La finalidad para la que desarrollo esta técnica fue la de construir torpedos teledirigidos por señales de radio, que no pudieran ser interceptadas o interferidas fácilmente por el enemigo. Sin embargo, Estados Unidos no utilizó esta tecnología en esos momentos del conflicto. Fue en el año 1962, después de la expiración de la patente cuando fue utilizado por los buques de la Marina de los Estados Unidos en la crisis de los misiles de Cuba. En este conocimiento están inspirados los sistemas actuales como el GPS, Bluetooth, teléfono móvil y wifi.

⁵ ABRAMS. *Op. cit.*

⁶ «Wikipedia» Wikimedia Project, 14 February 2014. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Hedy_Lamarr. [Último acceso: 23 February 2014].



EXAMPLE WITH 3 OPERATING NETS OPERATING DIFFERENT HOPPING PATTERNS

Figura 4. Multiplexación por secuencia de saltos.

A cada red se le asigna un número que especifica un patrón de salto en particular. Hay 128 números posibles (figura 3), siendo estos diferentes patrones de salto los que indican una configuración de apilado de redes. No se conforman las diferentes redes, por tanto, por una estricta multiplexación por división de frecuencias (figura 4), como en un principio pudiera parecer, sino por la secuencia de saltos definida por el patrón de saltos específico. Este procedimiento motiva que prácticamente no se pueda interceptar la transmisión. Un atacante que se encontrara escuchando en la frecuencia, solo podría interceptar un pequeño instante de la misma, los ya conocidos 13 microsegundos, que no le proporcionan ninguna información. Si el atacante quisiera seguir escuchando la comunicación tendría que conocer el patrón de salto, para poder acceder a la nueva frecuencia en la que el emisor transmitirá la siguiente "porción" del mensaje. Salvado este hándicap se encontraría que la comunicación se realiza cifrada, lo que impediría, de no conocer la clave, obtener información alguna del mensaje.

De otra forma, si la finalidad de ese mismo atacante fuera la de interferir la transmisión, podría realizarlo en una determinada frecuencia, mediante del uso de interferidores o *jammers* de banda estrecha, alterando la transmisión de numerosas comunicaciones, todas ellas durante 13 microsegundos, cada vez que alguna accediera a la frecuencia. Si quisiera interferir sobre una única comunicación, debería conocer el patrón de salto. Todos los equipos, cuando entran a formar parte de la red, conocen este patrón y son capaces de seguir la comunicación y sincronizarse, como se describirá más adelante. Realizar una interferencia de amplio espectro resulta imposible con los medios actuales. Un interferidor de estas características no podría abarcar, por problemas de potencia, todo el teatro de operaciones, atacando a todos los equipos que transmitan en la banda de frecuencias perturbadas.

El tiempo de duración de un slot, unidad básica de acceso a la red, se obtiene dividiendo cada día en 112,5 *epochs* o épocas, lo que configura un intervalo de tiempo de 12 minutos 48 segundos, divididos a su vez en 98304 slots de un tiempo total de 7,8125 milisegundos⁷. Los time slots de una época se agrupan en conjuntos o *sets*, exactamente tres, iguales: A, B y C, conteniendo 32768 time slots cada uno (figura 5). Este número, del 0 al 32767, sirve para identificar el time slot dentro del set en la época y se denomina *slot index*. A lo largo de una época los time slots están entrelazados, es decir, cuando se asignan bloques de slots una unidad participante, estos pertenecen a un mismo set. De esta forma se consigue reducir la probabilidad de que el siguiente acceso requiera esperar el tiempo de recuperación del sistema, provocando que saltara el slot y tuviera que esperar una vuelta completa para recuperarlo.

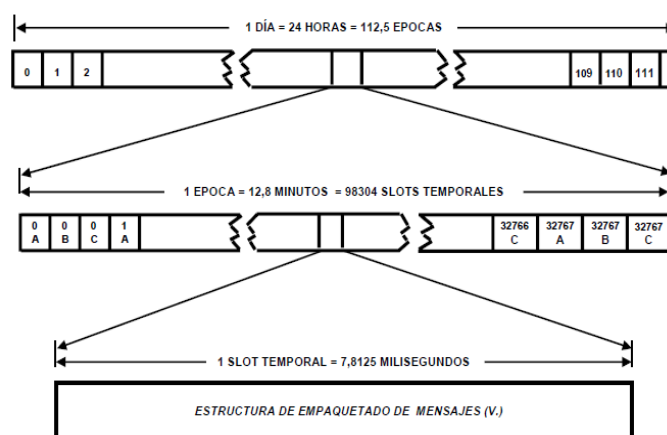


Figura 5. División de tiempos en Link-16⁸.

Para el diseño de una red en Link-16 se utilizan tramas o *frames*. Estas contienen 1536 time slots, por lo que su tiempo de duración es de 12 segundos. Las tramas también se dividen en sets, también iguales y también tres: A, B y C, estando, de igual modo entrelazados. Cada set de una trama contiene 512 time slots.

Los slots de tiempo no se asignan de forma unitaria, sino que se realiza en bloques para cada participante. Estos bloques se denominan Time Slot Blocks (TSB). Un TSB se identifica por tres parámetros: set, index number y Recurrence Rate Number (RRN). Como ya se ha indicado, el set identifica al grupo al que pertenecen los slots del TSB y todos los slots de un mismo TSB pertenecen al mismo set. Index number indica cual es el primer slot del S y el RRN indica el tamaño del mismo, expresado en potencias de 2.

⁷ SORROCHE, J., «Tactical Digital Information Link-Technical Advance and Lexicon for Enabling Simulation (TADIL/TALES),» SISO, Inc, 2005.

⁸ VERA, A., Métodos de asignación dinámica de intervalos de tiempo para redes de comunicaciones tácticas militares, Madrid: Universidad Carlos III, June 2006.

ADMINISTRACIÓN DEL TIEMPO DE TRANSMISIÓN EN LINK-16

Estudiando con detenimiento la división de tiempos de transmisión, se llega a la conclusión que el tiempo es, esencialmente, un activo escaso y que su gestión, de forma correcta, conlleva un empleo eficaz del sistema. Repasando los datos, se puede apreciar que el equipo de comunicaciones de un participante, al que está asignado un slot concreto, únicamente dispone para transmitir 7,8 msg cada 12 minutos y 48 segundos, y no puede volver a transmitir hasta 12,8 minutos después. Evidentemente, existen comunicaciones de mayor extensión que la transmitida en unos exiguos 7,8 msg. Cuando la transmisión es de mayor duración, deben reservarse varios time slots para la misma, principalmente si se transmite voz o video.

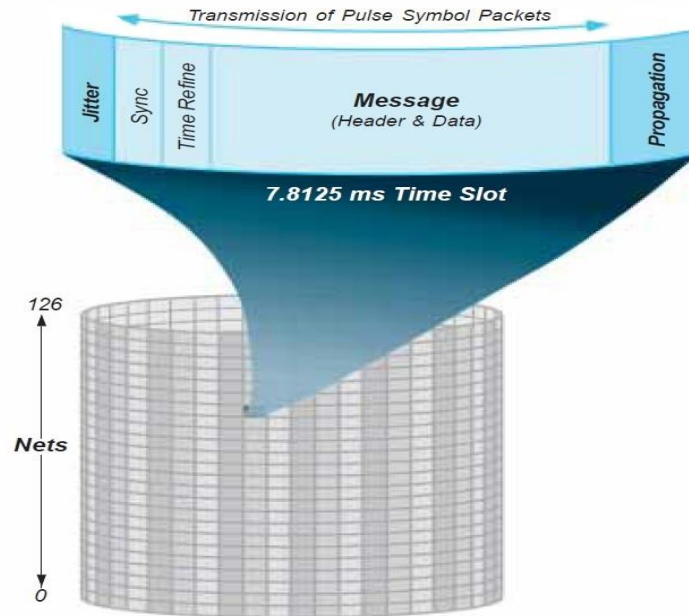


Figura 6. Time slot.

Es por tanto el time slot, la oportunidad que un participante tiene de compartir su información con el resto de usuarios. El time slot se divide en los siguientes componentes (figura 6)⁹:

- **Jitter:** periodo de tiempo sin transmisión, variable para cada time slot y determinado por un algoritmo pseudoaleatorio. Dificulta el ataque mediante jamming, dado que impide conocer cuando comienza la transmisión de la señal.

⁹ Program Executive Officer, Command, Control, Communications, Computers, Intelligence and Space, *Op. cit.*

- **Sync:** tiempo utilizado por el receptor para reconocer la señal y sincronizarse con la misma en modo grueso.
- **Time Refine:** periodo para finalizar la tarea anterior en modo fino.
- **Message:** en este periodo se transmite la cabecera y los datos del mensaje, con la posibilidad de empaquetarlos de cuatro modos diferentes.
- **Propagation:** este es el último periodo que constituye el time slot. En este periodo la señal es transmitida en el espacio para que alcance su destino. Este puede estar situado a un máximo de 300 millas náuticas en modo normal y hasta 500 millas náuticas si el modo es extendido¹⁰.

Los datos son transmitidos en el *message*, empaquetados de los cuatro modos (figura 7) siguientes¹¹:

- Standard Double Pulse (STD-DP)
- Packed-2 Single Pulse (P2SP)
- Packed-2 Double Pulse (P2DP)
- Packed-4 Single Pulse (P4SP)

En el formato STD se pueden transmitir 3 palabras, siempre en modo *Double Pulse*, 6 palabras en el formato P2, pudiendo realizarse en modo *Single Pulse* o *Double Pulse* y hasta 12 palabras en el formato P4¹¹, únicamente en modo *Single Pulse*.

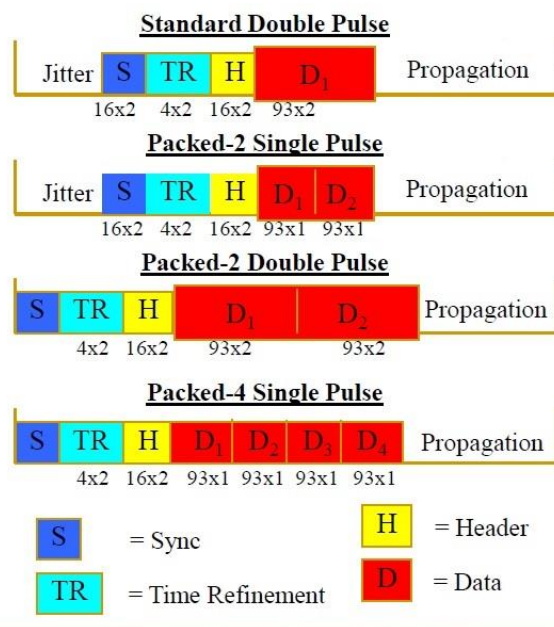


Figura 7. Modos de empaquetado del time slot¹².

¹⁰ MARTINEZ, M. & ARTES-RODRIGUEZ, A., «Still Image Transmission in a Link-16 Network Using Embedded zerotree wavelet (EZW) Algorithm,» de *Tactical Mobile Communications*, Lillehammer, Norway, 14-16 June 1999.

¹¹ MARTINEZ. *Op. cit.*

En el modo *Single Pulse* (figura 8.a) se transmite un pulso de 6,4 μs de portadora modulada, seguido de un tiempo muerto de 6,6 μs para conformar un paquete de 13 μs de duración total.

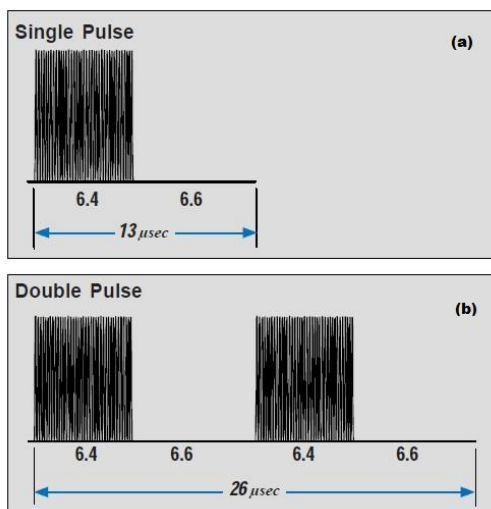


Figura 8. Single Pulse y Double Pulse.

Por otro lado, el modo *Double Pulse* (figura 8.b) transmite dos pulsos con exactamente el mismo contenido en cada pulso, pero con la salvedad que se realiza en diferente frecuencia de portadora, por lo que la duración total del pulso es el doble de tiempo, es decir, 26 μs .

Las cabeceras se transmiten siempre en *Double Pulse*, especificándose en la misma, como parte de ella, la estructura de empaquetamiento de los datos. En el formato STD se obtiene la máxima protección de los datos, transmitiendo cada bloque dos veces en frecuencias distintas. En el formato P2SP solo se transmite cada bloque de datos una única vez, lo que lo hace menos resistente a contramedidas. En contrapartida a este hándicap, se obtiene la ventaja de poder transmitir dos bloques de datos por cada uno del modo anterior. En el formato P2DP se transmiten dos bloques, como en el formato P2SP pero en modo *Double Pulse* al igual que en el formato STD. Para poder realizar esto, es necesario eliminar el jitter, con lo que las transmisiones se inician con la base de tiempos del sistema, facilitando, de algún modo, la realización de interferencias sincronizadas con esta base de tiempos. En el formato P4SP es necesario, igualmente, eliminar el jitter para realizar la transmisión, logrando emitir cuatro bloques con pulso sencillo. Es este formato, el menos resistente a la realización de contramedidas.

¹² TRUDEAU, T., *Introduction to Link-16/MIDS LVT*, ViaSat, Inc, 9-11 November 2010.

El alcance hasta 500 millas únicamente es posible en los formatos STD y P2SP, debido a que el tiempo de propagación de la señal es mayor (figura 7), y solo hasta 300 millas en los otros dos. Aun así, en los formatos P2DP y P4SP, resulta necesario eliminar el tiempo muerto del jitter para alcanzar estas 300 millas, con el detrimento en fiabilidad que conlleva.

EL PROBLEMA DE SICRONIZACION EMISOR / RECEPTOR

Hasta el momento se ha especificado el formato del mensaje y el ajuste del mismo al slot o conjunto de slots que el equipo emisor tiene asignado para su transmisión. Esto plantea un problema, que es el de la recepción por el resto de participantes y su sincronización a los tiempos establecidos.

A este problema, Link-16, presenta un agravante, como resultado de que el sistema mantiene entre sus características principales que es *nodelessness*, es decir, realiza sus tareas de forma distribuida, no existiendo un nodo central que gestione las funcionalidades de todo el sistema (figura 1). Se conforma, así, un bus de datos lógico, "bus de datos en el cielo"¹³, materializado por todos los equipos conectados en ese momento (figura 1). Es importante señalar, no obstante, que las versiones anteriores de los sistemas Link si lo tenían, lo que implicaba que cuando ese nodo central caía, el sistema dejaba de funcionar.

Los intervalos de tiempo están preasignados a cada participante, y el enlace funcionará independientemente de los participantes que se encuentren operativos en cada momento. De cualquier forma se necesita un terminal que realice la función de *Network Time Referencie* (NTR) para poner en marcha la red y efectuar la sincronización de la misma. Este equipo, referencia el principio y final de los time slots y alinea los mismos de las diferentes redes. El mensaje de sincronización se transmite dentro de un único time slot (figura 9).

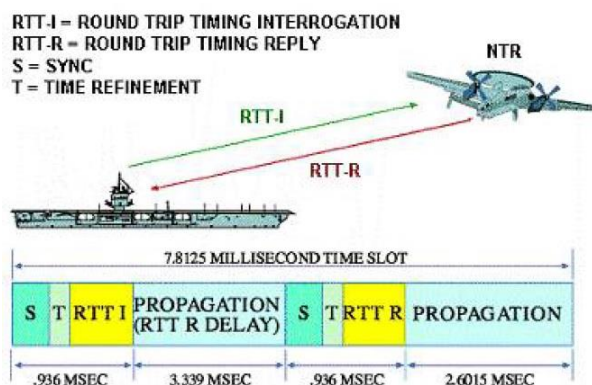


Figura 9. Network Time Referencie (NTR).

¹³ VERA. *Op. cit.*

Posteriormente, cuando la red ya se ha establecido, seguirá funcionando durante horas sin un NTR. Periódicamente, el equipo NTR emite un mensaje de sincronización a la red, permitiendo de esta forma que nuevos equipos entren en el sistema. Esta sincronización se realiza en dos pasos, uno en grueso, a través de un mensaje de entrada transmitido por el NTR en el grupo de slots de entrada inicial y recibido con éxito por el terminal que intenta entrar, mediante el cual consigue una aproximación de la hora actual del sistema y una estimación del error con que la obtiene, y otro en fino, cuando el terminal intercambia mensajes *Round Trip Timing*, RTT, de interrogación y respuesta dentro de un mismo time slot (figura 9) con el NTR, con el que el terminal consigue la hora del sistema, eliminando el error estimado debido a la propagación de la señal. El terminal está constantemente calculando la estimación de error, para determinar que se ha realizado la sincronización. Esta se da por alcanzada cuando es capaz de mantener ese error por debajo de 36 μ sg durante 15 minutos. Para poder participar de forma plena en la red, el terminal debe encontrarse en sincronización fina.

Para evitar que la pérdida del equipo que se constituye como NTR provoque la desincronización de la red, en su conjunto, se configuran equipos alternativos NTR, que lo sustituirían con una prioridad predeterminada en caso que se detectara que el principal ya no emite los mensajes de sincronismo.

Además, cada terminal, cuando ya se encuentra sincronizado, mantiene una medida de la precisión con la que sabe la hora del sistema, denominada Time Quality (Qt)¹⁴. El equipo la actualiza constantemente, transmitiendo periódicamente mensajes de sincronización de ida y vuelta y midiendo el tiempo de llegada de todos los mensajes recibidos.

Independientemente de la sincronización de la red al tiempo del sistema, existe otro tipo de sincronización cuando se formaliza una comunicación entre terminales emisor/receptor, como ya se ha visto en los componentes del time slot (figura 6), que se realiza en dos pasos¹⁴:

- **sincronización en grueso**: que se realiza cuando el terminal recibe un nuevo mensaje.
- **sincronización en fino**: que la ejecuta cuando el terminal ha efectuado varias peticiones de sincronización con éxito. Estas las realiza cuando estos mensajes no afecten al funcionamiento de la red.

Es importante volver a incidir en que los relojes de los equipos son lo suficientemente precisos como para poder trabajar durante horas, sin necesidad de sincronizarse con el NTR una vez realizada la sincronización inicial.

¹⁴ U.S. Navy Center For Tactical Systems Interoperability. *Op. cit.*

RECEPCIÓN Y CONFIRMACIÓN SEGURA DE LOS MENSAJES

Desde que el sistema es arrancado y los nodos están sincronizados, estos comienzan a transmitir sus mensajes. Mientras unos nodos emiten, otros, como es normal, reciben. Pero, ¿todos los mensajes que se emiten son recibidos por los receptores? ¿el sistema puede asegurar una calidad y eficacia en la transmisión de los mensajes?

Ante estas preguntas, cabe responder que no todos los mensajes necesitan ser confirmados en su recepción. Para aquellos mensajes que si se necesita asegurar que han sido recibidos, existen dos pasos de reconocimiento denominados procesamiento de Recepción/Confirmación (R/C)¹⁵:

- en el primer paso, denominado maquina de recepción (MR), se acusa recibo de la recepción del mensaje de forma automática por el equipo receptor.
- en el paso segundo, el emisor recibe el MR. De no ser así, el emisor repetirá el mensaje automáticamente. Esto puede ocurrir en repetidas ocasiones. Si después de realizar esta retransmisión varias veces, sigue sin recibirse el mensaje MR, se informa de esta circunstancia a los operadores afectados.

Para la realización de R/C no se asigna un nuevo slot de transmisión, sino que el emisor, siempre que se requiera confirmación de la recepción, “cede” uno de sus slots para la transmisión del MR¹⁵. De esta forma el emisor sabe perfectamente cuando debe esperar la recepción de este mensaje MR, ya que es el que proporciona el slot necesario. La ubicación de este slot se especifica en el cuerpo del propio mensaje transmitido. Los demás terminales a los que también se les haya podido dirigir el mensaje, deberán anotar la posición del slot y bloquear la transmisión de mensajes en el mismo.

CONCLUSIONES

Link-16 es un sistema “moderno” de comunicaciones tácticas en el desarrollo de operaciones militares, que deja de lado las comunicaciones clásicas, voz/radio, abordando los nuevos caminos en las tecnologías de las comunicaciones

Muchos son los aspectos que configuran esta tecnología, pero el recurso que ha de compartirse por todos los participantes es el tiempo de transmisión, convirtiéndolo en un activo relevante y cuya gestión ha de realizarse de una forma estricta.

Esta gestión se realiza utilizando arquitectura TDMA con slots de tamaño fijo y tiempo preasignado, permitiendo crear redes apiladas en anillo mediante saltos de frecuencias.

La duración del slot es de 7,8 msg, en los que además de transmitir los datos debe realizar otras funciones, como son la de sincronización emisor receptor y propagación,

¹⁵ Program Executive Officer, Command, Control, Communications, Computers, Intelligence and Space, *Op. cit.*

pudiendo configurarse los paquetes de cuatro formas distintas, dependiendo de la fiabilidad de la transmisión y del alcance al que se pretenda llegar, estando los límites en 300 mn ó 500 mn, siempre en la línea de visión.

Un aspecto vital para la transmisión es la sincronización de toda la red. Para alcanzar esta finalidad se requiere de un equipo que sirva de referencia, NTR. Para evitar que este equipo constituya un elemento bloqueante, existen otros equipos que le pueden sustituir en caso de caída, amén que los equipos son capaces de mantener la sincronización durante muchas horas sin necesidad de recibir la señal de sincronismo, gracias a mantener una medida de calidad de tiempo (Qt) con bastante precisión.

No todos los mensajes necesitan ser confirmados en recepción, pero los que si lo necesitan, se repetirán tantas veces como sea necesario. Si con esta medida no se consigue recibir la correspondiente comprobación, se notifica a todos los participantes en la transmisión.

Finalmente, Link-16 es un sistema global que proporciona unas transmisiones tácticas fiables, en tiempo “casi” real, mediante una estricta disciplina de gestión de tiempos, permitiendo establecer unas comunicaciones modernas en escenarios bélicos, con un gran nivel de seguridad mediante cifrado, pero esto es tema para un trabajo posterior.ⁱ

*José Luis Aznar Lahoz**

Universidad Politécnica de Madrid

Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos

REFERENCIAS

- [1] U.S. Navy Center For Tactical Systems Interoperability, *Understanding Link-16, A Guidebook for New Users*, San Diego, U.S.: Logicon, Inc. Tactical Systems Division, December 1998.
- [14]
- [2] Program Executive Officer, Command, Control, Communications, Computers, Intelligence and Space, [9 y 15] *Understanding Link-16, A Guidebook for United States Navy and States Marines Corps Operators*, San Diego, California, U.S.A.: Northop Grumman, Defense Mission Systems Division, September 2004.
- [3] GUPTA, D., «Concurrent Multi-net Link-16 Digital-RF Receiver» HYPRES., INC., 2009. Disponible en: <http://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/185265>. [Último acceso: 23 February 2014].
- [4] ABRAMS, J. et al, *Introduction to Tactical Digital Information Link J and Quick Reference Guide*, Doctrine Digital Library, June 2000.
- [5]
- [6] «Wikipedia» Wikimedia Project, 14 February 2014. [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Hedy_Lamarr. [Último acceso: 23 February 2014].
- [7] SORROCHE, J., «Tactical Digital Information Link-Technical Advance and Lexicon for Enabling Simulation (TADIL/TALES),» SISO, Inc, 2005.
- [8] VERA, A., Métodos de asignación dinámica de intervalos de tiempo para redes de comunicaciones tácticas militares, Madrid: Universidad Carlos III, June 2006.
- [13]
- [10] MARTINEZ, M. & ARTES-RODRIGUEZ, A., «Still Image Transmission in a Link-16 Network Using Embedded zerotree wavelet (EZW) Algorithm,» de *Tactical Mobile Communications*, Lillehammer, Norway, 14-16 June 1999.
- [11]
- [12] TRUDEAU, T., *Introduction to Link-16/MIDS LVT*, ViaSat, Inc, 9-11 November 2010.

***NOTA:** Las ideas contenidas en los *Documentos de Opinión* son de responsabilidad de sus autores, sin que reflejen, necesariamente, el pensamiento del IEEE o del Ministerio de Defensa.