

PARTE II

ANEXOS

A.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN

I. EXACTITUD

La exactitud mide el error entre la posición real del objeto a localizar y la estimada por el sistema. El error suele calcularse mediante la media de la distancia entre la posición estimada y la real de referencia donde se encuentra el dispositivo a localizar. Lo anterior parecería señalar, en una primera reflexión, que es suficiente con conocer uno de esos dos términos para realizar una comparativa acertada entre distintos sistemas. Sin embargo, también se usan las funciones de probabilidad acumulativa (CDF, *CumulativeProbabilityFunctions*) de la exactitud para medir la bondad o preferencia de un sistema ya que, cuando dos técnicas de posicionamiento se comparan, si su exactitud es la misma, se prefiere el sistema con una gráfica CDF que indique que los valores con una alta probabilidad se obtienen más rápidamente, porque su error en distancia está concentrado en valores más pequeños. La exactitud también puede ser vista como el error sistemático u offset que posee el sistema de localización. Normalmente, existe una correlación entre la exactitud y el resto de características. Por ejemplo, un algoritmo que utilice más tiempo computacional, suele proveer resultados de más exactos, sin embargo, requerirá más energía.

II. PRECISIÓN

La precisión mide cuán dispersas son las posiciones que el sistema estima. En algunas ocasiones, exactitud y precisión de forma conjunta, ya que ambas miden cómo de bien un sistema de localización estima la posición.

Generalmente, la precisión se calcula con la desviación estándar o con funciones de distribución acumulada. La función de distribución, a diferencia de la desviación estándar, permite comparar cómo de rápido se alcanzan valores de probabilidad mayores. En la práctica, se utilizan percentiles en vez de distribuciones acumuladas de error. Por ejemplo, si un sistema de localización cuyo percentil 75 es 2m, es decir, el error de localización es menor o igual a 2m el 75% de las veces; es más preciso que otro cuyo percentil 50 sea 2m.

III. COMPLEJIDAD

La complejidad considera el tiempo de computación requerido para obtener la convergencia de la medida durante la fase en tiempo real. La evaluación de ese tiempo no solamente representa el tiempo de espera para obtener un resultado, sino también el consumo de CPU del dispositivo que tiene que realizarla o, lo que es lo mismo, de batería, si el citado dispositivo es portátil (teléfono móvil, etc). La complejidad de cada algoritmo impone un límite máximo a la periodicidad con la que se puedan realizar las mediciones y, por ende, a la velocidad de desplazamiento del terminal móvil a posicionar. Obviamente, los resultados obtenidos para este parámetro varían en términos absolutos según el momento en que se realice el estudio, ya que la capacidad de computación evoluciona muy rápidamente. En cualquier caso, es un dato que ayuda a hacerse una idea sobre el grado de sencillez que presenta el tratamiento de datos por el algoritmo seleccionado, y de rapidez en la respuesta esperada.

IV. ROBUSTEZ

La robustez mide cómo de bien responde un sistema de localización ante un cambio imprevisto. Por ejemplo, qué le sucede a un sistema que utiliza antenas cuando una no funciona. O qué es lo que le sucede si llegan medidas que no son acordes a lo previsto.

V. ESCALABILIDAD

La escalabilidad mide cómo de bien se comporta un sistema cuando alguno de los parámetros del sistema cambia intencionadamente. Generalmente, los sistemas de localización han de ser escalables en dos ejes: en el espacio a cubrir y en la densidad de elementos a localizar por unidad de tiempo. Los sistemas que utilizan antenas y receptores suelen tener menor exactitud y precisión cuanto más separados están. Esto se debe a que la intensidad de la señal se reduce con la distancia. Además, cuanto más alejados están, la señal que emiten los transmisores se encuentra con más obstáculos ocasionando el bloqueo de la señal o reflexiones. La densidad de elementos a localizar afecta a la escalabilidad en dos formas. Por un lado, los sistemas necesitarán más tiempo para localizar a todos los dispositivos. Y por otra parte, los métodos de localización que utilizan mensajes, ya sean RF

(radiofrecuencia), ultrasonidos etc., pueden llegar a saturar el medio si la densidad de emisores es alta.

VI. COSTE

El coste, en un sistema de localización, está referido a diferentes factores: económicos, temporales, espaciales o energéticos entre otros. El coste económico, normalmente, está ligado a la cantidad de infraestructura que hace falta para montar el sistema. El temporal está relacionado con el coste de instalación y mantenimiento del sistema. El energético mide cuánta cantidad de energía hace falta para obtener una localización. El espacial se relaciona con el número de localizaciones por unidad de tiempo. Algunos de estos costes serán más o menos importantes según el tipo de sistema de localización. Por ejemplo, para un sistema en el que se localice a objetos móviles; el peso del dispositivo y la cantidad de energía consumida por localización serán costes importantes.

A.2. TIPOS DE LOCALIZACIÓN EN EL MÉTODO GEOMÉTRICO

I. PROXIMIDAD

Este método es el más simple para localizar. En vez de asignar una posición concreta al dispositivo, se le asigna un área. Para ello, cuando un dispositivo es detectado por una antena se le asigna el área de acción de dicha antena como el área de localización. Si dos antenas reciben al dispositivo, se asocia a aquella que más fuerte reciba la señal. Este método es el que utilizan los servicios de localización por voz de los teléfonos móviles [19]. La principal limitación de este método es que no se conoce la posición concreta del dispositivo dentro del área de acción en la que se le ubica.

II. TRIANGULACIÓN

Este método estima la posición del objeto en dos etapas. La primera etapa consiste en obtener las distancias o ángulos del objeto a localizar con respecto a las antenas. La siguiente etapa consiste en aplicar un algoritmo de triangulación para estimar la posición. Los sistemas electrónicos no pueden medir directamente distancias o ángulos, solo son capaces de medir diferencias de potencial eléctrico o el tiempo que transcurre entre dos eventos. Por lo tanto, las magnitudes geométricas han de derivarse necesariamente de estas últimas. A continuación, se presentan las principales formas de hacerlo.

A. RSS (*Received Signal Strength*, intensidad de la señal recibida).

En este método se estima la distancia a partir de la potencia de la señal recibida. Para el espacio libre, esta relación es la que describe la ecuación de Friis (1) [20]. Donde P_r es la potencia recibida, P_t es la potencia transmitida, G_t y G_r son las ganancias del transmisor y del receptor respectivamente, λ es longitud de onda y R la distancia que separan al receptor del transmisor.

$$P_r = P_t G_t G_r \left[\frac{\lambda}{4\pi R} \right]^2 \quad (1)$$

$$P(d) = P(d_0) + 10n \log \left[\frac{d}{d_0} \right] + X_\sigma \quad (2)$$

Sin embargo, medir las ganancias del transmisor y el receptor puede ser complicado. Además, los sistemas de telecomunicaciones suelen suministrar medidas de RSS en dBm; por lo que la ecuación (2) suele ser más utilizada [21]. En esta ecuación d_0 es la distancia de referencia, d es la distancia entre emisor y receptor, $P(d)$ es la potencia recibida, $P(d_0)$ es la potencia recibida por el receptor a la distancia de referencia y n es la relación de potencia del medio (para $n=2$ se obtendría la ecuación de Friis). También aparece en (2) X_σ que es una distribución gausiana con media 0 que incorpora la parte no determinista inevitablemente presente en entornos reales.

La principal ventaja de este método es que la medida de la potencia de la señal recibida está ya incorporada en muchos circuitos de comunicaciones. Por contra, la correlación entre potencia recibida y distancia no es sencilla. Por ejemplo, las señales RF a 2.4 GHz se atenúan más cuánta más humedad hay en el ambiente [22]. Una complicación evidente en entornos de interior es el efecto de las paredes [23].

- a) TOF (*Time Of Flight*, tiempo de vuelo): en esta metodología se mide el tiempo que le cuesta llegar el mensaje desde el emisor al receptor. El mensaje enviado ha de contener el instante de envío t_{send} . El receptor guarda el instante en el que recibió el mensaje t_{oa} (*time of arrival*, tiempo de llegada). A la diferencia de estos dos tiempos se les substrae el tiempo de procesado del mensaje en el receptor t_{proc} y se obtiene el tiempo de vuelo t_{of} , tal y como muestra (3). Multiplicando este tiempo por la velocidad de propagación de la onda en el medio se obtiene la distancia entre ambos. En este método es necesario que los relojes del emisor y receptor estén sincronizados. Los métodos que utilizan el tiempo para localizar, como éste, permiten localizar de forma precisa y exacta. En [24] presenta un sistema que permite localizar en el 100% de los casos, con errores inferiores 1m para visión directa.

$$t_{\text{of}} = t_{\text{oa}} - t_{\text{send}} - t_{\text{proc}} \quad (3)$$

- b) RTT (*Round Trip Time*, tiempo de viaje): este método, al igual que el anterior, mide el tiempo de vuelo pero evita que emisor y receptor tengan los relojes sincronizados. Para ello, el emisor envía un mensaje y guarda el tiempo en que lo envío t_{send} . El receptor recibe el mensaje, lo procesa y envía otro mensaje al emisor. El emisor al recibir el mensaje guarda el tiempo en el que llegó t_{oa} . Tal y como indica (4), la diferencia de estos dos tiempos se corresponde a dos veces el tiempo de viaje más los tiempos de procesador en el receptor $t_{\text{proc},r}$ y emisor $t_{\text{proc},e}$.

$$t_{oa} - t_{send} = 2t_{of} + t_{proc,r} + t_{proc,e} \quad (4)$$

- c) TDOA (*Time Difference Of Arrival*, tiempo de diferencia de vuelo): la idea detrás de este método no es medir tiempos absolutos, sino diferencias de tiempos. Estos sistemas pueden utilizar dos esquemas. En el primero, las antenas, de forma sincronizada, mandan señales y el dispositivo a localizar mide las diferencias de tiempo de llegada. En este esquema se pueden producir colisiones de los mensajes, ya que en el mismo instante hay varios dispositivos emitiendo. El segundo consiste en que el dispositivo a localizar envíe la señal, y las antenas miden los tiempos de llegada. Después, las antenas comparten las medidas de tiempo tomadas. En este esquema es necesario que los relojes de las antenas estén sincronizados.
- d) DTDOA (*Differential Time Difference of Arrival*,): al igual que el método anterior, este método mide diferencias de tiempos. Sin embargo, el sistema utiliza una antena para mandar un mensaje, las antenas al recibirlo toman los tiempos de llegada. Luego el dispositivo a localizar manda otro mensaje y las antenas guardan el tiempo de recepción de este mensaje. Luego el dispositivo a localizar manda otro mensaje las antenas guardan el tiempo de recepción de este segundo mensaje. El tiempo que pasa entre ambos mensajes es el que se utiliza para posicionar al objeto. Este método no requiere sincronización de los dispositivos, ya que se miden diferencias de tiempos entre dos mensajes.
- e) PDOA (*Phase Difference Of Arrival*, diferencia de fase de llegada): en este método se lanzan dos señales sinusoidales continuas a diferentes frecuencias desde el emisor. Las ondas al propagarse por el medio se desfasan, ya que son de frecuencias diferentes. Como muestra la ecuación 5, el desfase tiene dos componentes, uno temporal y otro debido a la separación entre receptor y emisor (variable x).

$$\Delta\delta = 2\pi(f_1-f_2)t - \frac{2\pi}{c}(f_1-f_2)x \quad (5)$$

La principal desventaja de este método es que el desfase entre las ondas solo puede tomar medidas entre 0 y 2π . El mismo valor de desfase se dará a distancias diferentes. En Fig.42 se ejemplifica este caso para dos ondas de 10 y 15MHz. La diferencia de frecuencias es de 5MHz, lo que equivale a una longitud de onda de 60m. Si se observa

Fig 42, las ondas se desfasan la misma cantidad tras estos 60m. Por lo tanto, esta medida por sí sola no es suficiente para determinar la distancia.

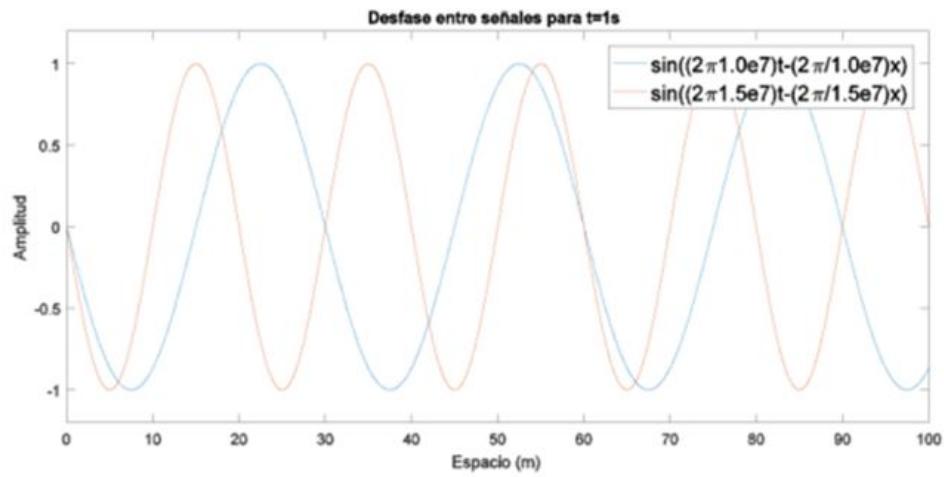


Figura 44. Propagación de dos ondas en el espacio a diferentes frecuencias

- f) AOA (*Angle of Arrival*, ángulo de llegada): este método mide ángulos en vez de distancias. En este método la posición queda determinada por dos ángulos para posicionamiento en 2D y con tres para posicionar en 3D. Para medir el ángulo de llegada se utilizan varias técnicas. Una forma es utilizar dos antenas, una omnidireccional que estima la potencia de la señal recibida y otra direccional que gira hasta obtener la máxima potencia. Esto sucede cuando el lóbulo principal de la antena, apunta en la dirección donde se encuentra el emisor.

Otra alternativa es utilizar varias antenas separadas entre sí una distancia determinada. Cada una de las antenas toma el tiempo de llegada del mensaje y a partir de las diferencias de tiempos, se puede conocer el ángulo. Cuantas más antenas se utilicen mejor será la resolución [25].

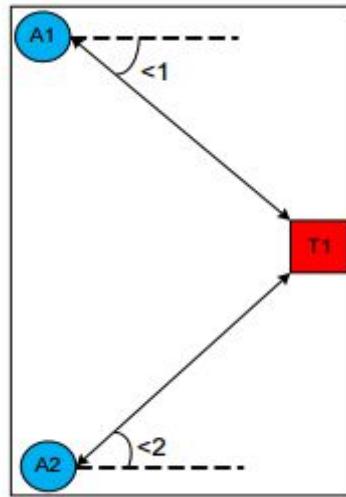


Figura 45. Esquema de ángulo de llegada

Este método, a diferencia, de los anteriores requiere más *hardware* y por tanto, es más costoso. Además, un pequeño error en la medida del ángulo, puede ocasionar un gran error de posicionamiento [26].

Una vez obtenidas las medidas necesarias, se aplica el algoritmo de triangulación para estimar la posición del objeto. Los sistemas que miden directamente la posición entre la antena y el objeto: RSS, TOF, RTT y PDOA, utilizan triangulación circular. Mientras que los sistemas que miden diferencia de tiempos de llegada hasta distintas antenas: TDOA y DTDOA utilizan triangulación hiperbólica.

En la triangulación circular, las antenas se sitúan en los centros de las circunferencias y las distancias entre éstas y el dispositivo son el radio de las circunferencias.

En triangulación hiperbólica, las antenas se sitúan en los focos de las hipérbolas. La diferencia de distancias del objeto a localizar a las antenas es la constante de la hipérbola.

Idealmente, las circunferencias o hipérbolas se cortarían en un único punto. Sin embargo, efectos adversos, como ruido, multirayecto, bloqueo de la señal (NLOS), etc., impiden que esto suceda [27]. Por ello hay que aplicar algoritmos más complejos, como *Least-Squared Multilateration* [28], para estimar la posición del objeto.

A.3. TECNOLOGÍAS PARA LOCALIZAR EN INTERIORES

I. ULTRASONIDOS

Los sistemas de localización por ultrasonidos, por lo general, utilizan tiempos de vuelo para determinar la posición del objeto. A diferencia de las señales RF, donde la velocidad de propagación se puede tomar como constante, en las señales sonoras esto no es así. La velocidad de propagación del sonido se ve afectada por la temperatura y humedad ambiente [29]. Otra desventaja es el ruido ambiente, algunos dispositivos pueden emitir ultrasonidos, como por ejemplo las bobinas de las fuentes conmutadas.

Estos sistemas suelen seguir dos estrategias, utilizar un ancho de banda estrecho o un gran ancho de banda. Los primeros tienen la ventaja de que pueden cubrir mayores distancias. Por otra parte, los segundos son menos sensibles a interferencias, ya que las señales pueden ser más complejas. Algunos sistemas basados en ultrasonidos como Cricket [30], Buzz [31], se basan en la utilización de un ancho de banda pequeño [32]. Utiliza un ancho de banda mayor, lo que le permite calcular los tiempos de llegada a varios receptores y extraer el ángulo de llegada de la señal.

Los sistemas basados en ultrasonidos permiten localizar con un error del orden de los centímetros. Estos sistemas también presentan un bajo coste económico. Además, el sonido no es capaz de traspasar las paredes, lo que evita interferencias entre sistemas de distintas habitaciones.

II. RFID

Esta tecnología fue pensada para identificar objetos o personas mediante la transmisión de información por radiofrecuencia. Esta tecnología se ha implementado a diversas frecuencias: 125KHz (LF), 13.56MHz (HF), UHF etc. Los sistemas RFID constan de al menos dos partes: el *tag* y el lector.

El *tag*, es el dispositivo que contiene la información. Los *tags* pueden clasificarse en tres categorías. Los activos son aquellos que utilizan una batería para alimentarse. Además, suelen tener funcionalidades añadidas como memoria o sensores. Los pasivos utilizan la energía de la onda portadora para alimentarse. Estos suelen ser más baratos que los activos, pero tienen menor rango de comunicación. Los semipasivos, se alimentan de una batería pero la funcionalidad principal de ésta es alimentar al resto de la electrónica del *tag*.

Esta tecnología tiene las ventajas de ser muy barata y permitir reconocer la identidad del objeto a localizar. Por contra, solo se pueden hacer medidas RSS

para localizar. Por lo que normalmente esta tecnología suele hibridarse con otras para poder localizar con precisión [33],[34]. O bien implementar sencillos algoritmos de localización poco exigente como el de proximidad [35].

III. UWB

UWB es una tecnología de RF, cuyas capas PHY y MAC están definidas en las norma IEEE 802.15.3a/b respectivamente. A diferencia de la tecnología Wi-Fi, ésta utiliza un gran ancho de banda para transmitir información. El ancho de banda mínimo para considerar a una tecnología como UWB depende de la regulación de cada zona. En Europa la ECC (*European Communications Commission*, Comisión de Comunicaciones Europea), establece ese ancho de banda mínimo en 50MHz; mientras que en Estados Unidos, la FCC (*Federal Communications Commission*, Comisión Federal de Comunicaciones) lo establece en 500Mhz.

Al utilizar un gran ancho de banda, esta tecnología puede emitir pulsos de muy corta duración (inferior a 1ns) como muestra la Fig. 4. Asimismo, permiten capturar el instante de tiempo en el que se recibió el mensaje con un buen grado de precisión.

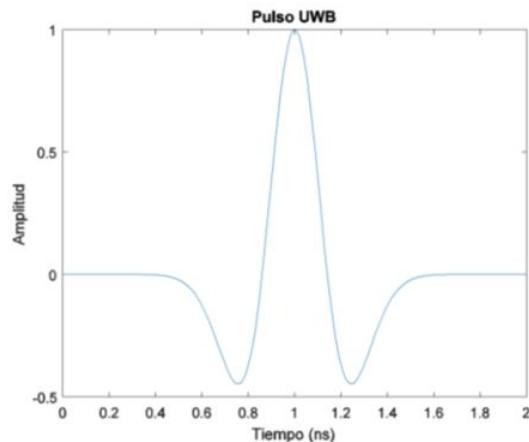


Figura 46. Pulso UWB

UWB también permite alcanzar tasas de transmisión de datos altas, la norma define hasta 480Mbps. Además, esta tecnología está pensada para ser eficiente energéticamente. En [36] se muestra que UWB utiliza menos energía por *bit*, tanto para recibir como para emitir, que Wi-Fi, Zigbee y Bluetooth.

Por contra, la tecnología UWB es una tecnología novedosa y bastante cara si se compara con otras existentes en el mercado. A pesar de ello, ya hay algunos

sistemas que utilizan esta tecnología. [37] Otra desventaja es que al utilizar frecuencias más altas (entre 3.1 y 10.6 GHz para entornos interiores) la señal se atenúa más rápidamente. De hecho su rango de acción efectivo está en torno a los 10m.

IV. WLAN

WLAN es un estándar definido en la norma IEEE 802.11 que utiliza mensajes RF para transmitir información, permitiendo alcanzar tasas de transmisión de hasta 600Mbps, y crear redes LAN inalámbricas. Utiliza las frecuencias de 2.4GHz (banda libre ISM) y 5GHz. A diferencia de UWB, este estándar utiliza un ancho de banda estrecho. La potencia de emisión también está limitada, 15-20 dBm; a pesar de ello, las redes WLAN pueden llegar a tener un alcance de varias decenas de metros en interiores.

Con esta tecnología se han implementado algoritmos de localización basados en RSS [38],[39] o en tiempos de vuelo [40], ya que en el estándar IEEE 802.11v, se definieron paquetes para el intercambio de información acerca de la red y el tiempo de envío de los mensajes.

Las redes WLAN están muy extendidas en entornos interiores, como hospitales, supermercados o edificios de oficinas, por lo que generalmente no es necesario extender una nueva infraestructura para localizar. Otra ventaja es que este tipo de redes utilizan la pila TCP-IP, que incluye las capas MAC y de RED, facilitando el direccionamiento e intercambio de mensajes entre los nodos de la red.

La principal desventaja es que al utilizar bandas libres, puede haber colisiones con otros estándares. Otra desventaja es que al utilizar un ancho de banda estrecho, los tiempos de recepción tampoco pueden medirse con suficiente exactitud.

V. BLUETOOTH

Bluetooth es una tecnología de comunicación que opera a 2.4GHz, en la banda ISM. En la norma IEEE 802.15.1 se define la capa MAC y PHY para la versión 1.1.

Esta tecnología está integrada en numerosos dispositivos móviles, como *smartphones*, tabletas, *smartwatches* etc., debido a su bajo coste. Además, el protocolo *Bluetooth* es bastante sencillo, por lo que puede integrarse en dispositivos embebidos fácilmente.

Por el contrario, al operar sobre la banda ISM puede haber problemas de saturación del canal, ya que en esa banda también operan otras tecnologías como *Wi-Fi* o *ZigBee*. Otra desventaja, es que *Bluetooth* no tiene un gran alcance, normalmente no más allá de los 10 metros. Además la máxima tasa máxima de transmisión de datos es de 32Mbps.

VI. CAMPO MAGNÉTICO

El campo magnético ha sido propuesto como un complemento para localizar en distintos trabajos [41],[42],[43]. Normalmente, suele utilizarse el campo magnético terrestre, ya que es de intensidad constante y apunta en una dirección conocida.

No obstante han surgido sistemas basados en antenas que emiten campos magnéticos que permiten determinar la posición. Por ejemplo, [44] propone que cada una de las antenas emita con una combinación distinta de frecuencias, creando así un campo magnético único para cada una. Esto permitiría a los dispositivos móviles identificar en la zona en la que se encuentran.

La gran ventaja de esta tecnología, aparte del campo magnético terrestre, es que los magnetómetros (dispositivos de medida de la intensidad del campo magnético) son baratos y ya están integrados en dispositivos. Una desventaja de esta tecnología reside en que hay materiales que perturban el campo magnético, como el hierro o el acero. Además, el campo magnético terrestre por sí solo no es suficiente para localizar.

VII. INFRARROJOS

Los sistemas basados en esta tecnología utilizan la luz infrarroja para localizar. El uso de esta tecnología para localizar no es novedoso, a principios de la década de los 90 se desarrolló el sistema *Active Badge*[45]. Este sistema consistía en unos dispositivos que emitían periódicamente un código, en forma de pulsos infrarrojos. Una red de sensores captaba dichos pulsos y el sistema posicionaba al usuario mediante un algoritmo de proximidad. Otros sistemas más modernos como el sistema IRIS LPS [46] utiliza varias cámaras infrarrojas separadas una cierta distancia para determinar la distancia al objeto. Este sistema es capaz de posicionar con una exactitud de 16 cm.

La principal ventaja de esta tecnología es que se puede estimar con bastante precisión la posición del objeto. Además, los dispositivos emisores suelen ser pequeños y pesar poco.

La principal desventaja de esta tecnología es que la luz que proviene del sol o de fluorescentes puede crear interferencias. Por lo que a veces es necesaria la utilización de filtros ópticos, lo que resulta en sistemas con un coste económico elevado. Asimismo, los sistemas que utilizan cámaras infrarrojas también suelen tener costes elevados. Además es necesario que receptor y emisor estén en línea de visión directa.

B.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE LOCALIZACIÓN ACTUAL

Los componentes del sistema de localización que se comercializa actualmente son [14]:

- ANTENA



Receptor (alcance 6 metros, separación recomendada entre unidades 10 metros)

Características técnicas

El receptor es un dispositivo de radiofrecuencia, se instala fuera de la vista por encima de un falso techo. El receptor recibe las transmisiones de los *tags* dentro de su rango de detección, y envía esta información al PC servidor.

El número de receptores instalados en una instalación depende del tamaño del área cubierta. El receptor detecta señales recibidas desde *tags* a una distancia determinada que puede variar dependiendo de las condiciones del lugar.

Voltaje	12 VDC–24VDC
Consumo	40mA24VDC
Frecuencia	433,92MHz
Radio de Recepción	6,5m
Conectores de Red	RS-485
Indicadores de Estado	RF, Energía, Estado de la red
Temperatura	0°C a 55°C
Humedad	0-90%
Dimensiones(WxHxD)	10,24cmx13,79cm x 3,68 cm
Peso	100 gr

Figura 47. Tabla con las características de la antena del sistema de localización actual.

- FUENTE DE ALIMENTACIÓN



Fuente de alimentación hasta máx. 18 dispositivos por fuente (depende del cableado).

Características técnicas

- Entrada AC Universal 88—264 Vac
- Instalación DIN rail TS35/7.5 o 15
- Protección: contra cortes de suministro, cortocircuito, sobrecarga, sobretensión
- Utilización de condensadores eléctricos
- Resistente a las vibraciones 2G
- Eficiente, fiable y de larga duración
- UL508 (Control de equipamiento industrial)
- UL1310 unidad de alimentación clase 2/ LPS

- CONVERSOR BUS A ETHERNET



Conversor Bus a *Ethernet* hasta 50 dispositivos (Controlador, lector de *tag* y receptor) por bus

Características técnicas

- Ethernet 10/100 Mbps
- Velocidad de transmisión 230,4 Kbps
- Elección de modos de funcionamiento: COM Real, servidor TCP, cliente TCP y UDP
- Alimentación (Conversor) o Voltaje: 5 Vdc o Consumo 1.2 A
- Alimentación (Fuente): 100 – 240 Vac
- Dimensiones: 176x130x76 mm
- Caja estanca fabricada con material plástico libre de halógenos. Tornillos plásticos de cierre rápido (1/4 de vuelta) e imperdibles, y tornillos con terminación de arpón para la fijación de la tapa a la base.

- Laterales Lisos
- Grado de protección IP65-IP67
- Resistencia al impacto IK07
- Grado de auto-extinguibilidad HB (UL94)
- Resistencia al hilo incandescente 650°C

- TAG ACTIVO PERSONAL Y RESIDENTES



Tag activo para localización personal y usuarios, con botón de pánico para generar alarmas. Incluye cordón.

El *tag* de personal es un *tag* de radiofrecuencia que:

- Permite al personal de forma automática, evitar alarmas al acompañar a un usuario portador de un *tag* en una zona controlada por un dispositivo para la localización.
- Anular alarmas
- Para usuarios válidos permite solicitar ayuda mediante la pulsación del botón para generar alarmas en caso de emergencia.

Características técnicas

- Robusto
- Dispone de número de serie electrónico
- Advertencia automática de batería baja

Frecuenciadeentrada	125kHz
Frecuenciadesalida	433,92MHz
LED	Indicador de actividad
Temperaturadefuncionamiento	14ºa122º F(-10º a50ºC)
Temperaturadealmacenamiento	-4º a131ºF (-20ºa 55ºC)
Dimensiones	2,24x1,37x0,4" (5,7x3,5x1,0cm)
Peso	0.6 oz (17g)
Fuentedealimentación	3V

Figura 48. Tabla de características del *tag* activo y personal

- TAG DE BIENES CON TAMPER ANTIRROBO



El *tag* de bienes se utiliza para proteger los activos valiosos que puedan moverse dentro de sus instalaciones. Una vez que el *tag* de bienes se pone en el activo, cualquier intento no autorizado para quitar el *tag* dará lugar a una alarma. El sistema también genera una alarma si el *tag* se acerca a una zona sin autorización

El tag de bienes envía una señal periódica que es supervisada por el sistema. Esta información puede ser utilizada para realizar un seguimiento preciso y ubicar los equipos dentro de la instalación.

Características Técnicas

- Tamaño reducido
- A prueba de manipulaciones ante retiradas no autorizadas
- Duración de la batería en uso normal de 12 a 15 meses, se puede reducir en función del uso.
- Número de serie electrónico único para identificar cada etiqueta
- Salida de Entrada de frecuencia: Frecuencia: 433.92 MHz 125 KHz
- Temperatura de funcionamiento: 14 ° F a 122 ° F (-10 ° C a +50 ° C)
- Temperatura de almacenamiento: -22 ° F a 140 ° F (-30 ° C a +60 ° C)
- Dimensiones: 54x35x15mm
- Peso: 13 g

- TAG ACTIVO USUARIOS



Tag activo localización usuarios, resistente al agua.

Características técnicas

Cada tag se identifica por su código único. El sistema genera una alarma si el tag se aproxima a una zona controlada. El tag se puede llevar en la muñeca de la persona o tobillo y se une mediante una banda resistente a la rotura.

- Único número de serie electrónico para identificar cada Tag
- Superficie lisa que permite fácil esterilización, diseño atractivo y resistente a impactos
- Evita la acumulación de bacterias
- Salida de frecuencia 433.92 MHz
- Resistente al agua
- Entrada de frecuencia 125 kHz
- Duración de la batería: tres años
- Temperatura de almacenaje y transporte: 0° C a 40° C
- Humedad 0-95% de humedad relativa a 21° C), sin condensación
- Dimensiones aproximadas 2,79 x 2,54 x 1,27cm

B.2 ULTRA WIDEBAND

I. HISTORIA

El primer pulso basado en radio UWB fue Spark Gap, desarrollado por Guglielmo Marconi a finales de 1800 para transmitir código Morse. Pero la idea básica de *Ultra-Wideband* se remonta a los experimentos de Heinrich Hertz, realizado en 1886 en la *Technische Hochschule Karlsruhe Ruhé*, y los de Guglielmo Marconi desde mediados de 1890, usando transmisores.

Los impulsos muy cortos resultantes, se extendieron por una amplia banda de frecuencias, y fueron la base de las primeras comunicaciones inalámbricas. Estas, no obstante, no se adoptaron como concepto para sistema de comunicaciones a largo plazo debido a que cada transmisor ocupaba demasiado espectro disponible y la probabilidad de interferir entre diferentes usuarios era extremadamente alta.

En 1962, Hewlett-Packard desarrolló el osciloscopio, que permitió observar y medir la respuesta al impulso (*pulse based*) de redes de microondas.

En los 60, la tecnología UWB renació, los avances del estudio sobre esta tecnología, descubrieron una nueva forma de transmisión para radar e intercambio de información mediante pulsos y empezó a implantarse para uso militar.

En 1973, se concedió el primer ancho de banda patentado a *Sperry Research Center*. A partir de ese momento, las tecnologías que funcionaban sobre un gran ancho de banda vuelven aemerger.

A finales de 1980, la tecnología UWB se definió como tecnología banda base de libre portadora o impulso, pero no fue hasta 1989 cuando el Departamento de Defensa de EE.UU., definió el término “*Ultra WideBand*.”

Durante 30 años se han desarrollado técnicas usando esta tecnología, hasta que recientemente las aplicaciones UWB se permitieron solo bajo licencias especiales. En Abril de 2002 FCC, la agencia federal del Gobierno de EE.UU. encargada de regular y administrar las materias de telecomunicaciones, publicó las Normativas UWB, permitiendo emisiones UWB sujetas a frecuencias y potencias limitadas, lo que atenúa el riesgo de interferencias a aquellos que comparten el mismo espectro.

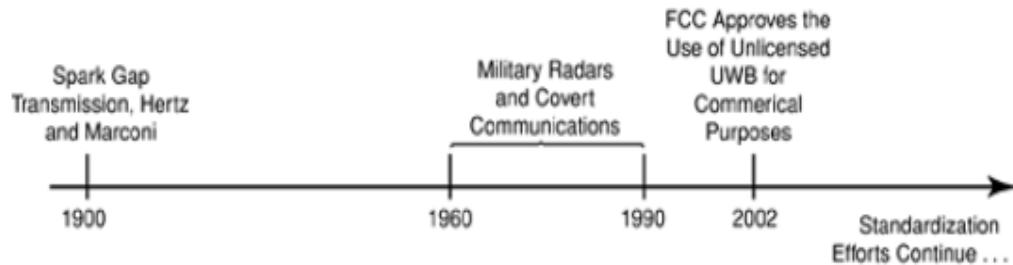


Figura 49. Cronología UWB

Muchos vieron la tecnología UWB como el reemplazo del cable corto (≈ 3 m) del cable, con capacidad de transferir cientos de Mbps. El tiempo ha demostrado que UWB se puede utilizar más eficientemente para sistemas de localización con capacidades de comunicación sólo como una característica adicional.

II. FUNCIONAMIENTO

UWB se aceptó como un sistema basado en pulsos donde cada antena emite (antena transmisora) un pulso que ocupa al menos 500 MHz o el 25% de la frecuencia central.

La frecuencia de repetición de los pulsos puede ser relativamente baja (1 a 100 Mega pulsos/segundo) o muy alta (1 a 2 Giga pulsos/segundo).

El correspondiente receptor transforma los pulsos en datos para buscar una secuencia de pulsos conocida enviada por el transmisor.

Los pulsos que se envían en este sistema ocupan todo el ancho de banda, como consecuencia, son muy cortos en el espacio (menos de 60 cm. para un pulso de anchura de 500 MHz y menos de 23 cm. para un pulso cuyo ancho de banda sea 1.3 GHz) y las reflexiones de la señal no solapan al pulso original, lo que provoca que disminuya el efecto del *multipath* aunque no el ISI (Interferencia entre Símbolos), que se puede mitigar con técnicas de codificación.

Una diferencia entre las transmisiones radio tradicional y las transmisiones radio UWB es que en los sistemas tradicionales la información se envía variando la fase, amplitud o frecuencia de una onda sinusoidal; mientras que en las transmisiones UWB se puede transmitir información generando energía

radio en unos instantes específicos de tiempo y ocupando un gran ancho de banda. La información puede ser modulada en señales UWB (pulsos), codificando la polaridad de los pulsos, la amplitud y/o usando pulsos ortogonales.

III. SEÑALES UWB

El ancho de banda fraccional es un factor usado para clasificar señales como de banda estrecha, de banda ancha o UWB, y queda definido por el ancho de banda a niveles de -10dB con respecto a la frecuencia central:

$$B_f = BW \frac{BW}{f_c} \times 100\% = \frac{f_h - f_l}{f_h + f_l / 2} \times 100\% = \frac{2 \times (f_h - f_l)}{f_h + f_l} \times 100\%$$

Donde f_h y f_l son las frecuencias superior e inferior respectivamente (en el punto -10dB).

Como se define en el primer R&O de la FCC, las señales UWB deben de tener anchos de banda superiores a los 500 MHz, o bien anchos de banda fraccionales superiores al 20% en todos los instantes de transmisión.

- $B_f > 20\%$
- $B_f * f_c > 500\text{MHz}$

Clasificación de señales basadas en su ancho de banda fraccional, B_f :

Banda estrecha	$B_f < 1\%$
Banda ancha	$1\% < B_f < 20\%$
Ultra-Wide Band	$20\% < B_f$

Figura 50. Tabla de la clasificación de las señales según su ancho de banda

Una señal UWB puede ser cualquiera de las variedades de señales de banda ancha, tal como la familia de señales Gaussianas (pulso, monociclo, doblete...), chirp o pulsos cortos basados en Hermite.

B.3 VENTAJAS DE UWB

La naturaleza de los pulsos de corta duración empleados en las tecnologías UWB ofrece varias ventajas sobre los sistemas de comunicación de banda estrecha. Éstas quedan expuestas en este apartado.

I. CAPACIDAD PARA COMPARTIR EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS

Las restricciones de la FCC para sistemas UWB en cuanto a niveles de emisión son de 41.3 dBm/MHz,(o lo que es lo mismo,75 nW/MHz). Esto los coloca en la categoría de radiante no intencionado, como la televisión o los monitores de ordenador. Sin embargo, todo esto depende del tipo de modulación usada para transferir los datos en el sistema UWB (algunos esquemas de modulación generan líneas espectrales no deseadas en el espectro densidad de potencia, las cuales pueden incrementar la probabilidad de interferencia a otros sistemas e incrementar la vulnerabilidad del sistema UWB ante interferencias de otros servicios de radio).

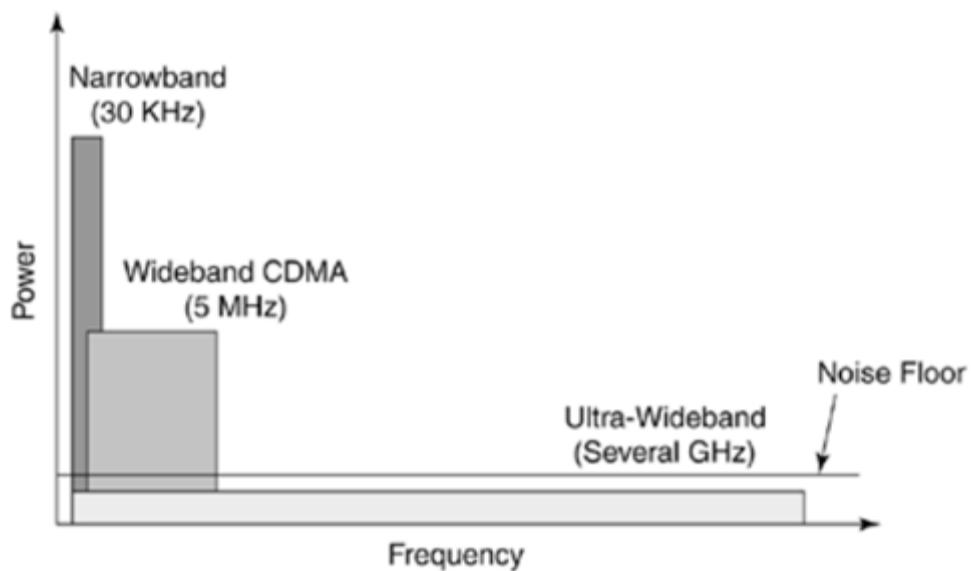


Figura 51. La emisión de dispositivos UWB cae debajo del nivel de ruido

II. GRAN CAPACIDAD DEL CANAL

La capacidad del canal, o tasa de datos, se define como la máxima cantidad de datos que pueden ser transmitidos por segundo sobre un canal de comunicaciones. La gran capacidad del canal de comunicaciones UWB se hace evidente a través de la fórmula de la capacidad de Hartley-Shannon:

$$C = B \log_2 (1 + SNR)$$

Dado que disponemos de un ancho de banda del orden de giga-hertzios, es de esperar que se obtengan tasas de datos del orden de giga-bits por segundo.

Sin embargo, debido a la limitación de potencia de la FCC sobre las transmisiones UWB, una tasa de datos como la descrita está disponible sólo para distancias cortas, de hasta 10 metros. Esto convierte a los sistemas UWB en candidatos perfectos para aplicaciones de rangos pequeños con altos requerimientos en cuanto a tasas de bit sin cables como las redes inalámbricas de área personal o WPAN.

III. CAPACIDAD PARA TRABAJAR CON BAJA SNR

La capacidad del canal depende logarítmicamente de la relación señal a ruido (SNR). Por ello, los sistemas de comunicaciones UWB son capaces de trabajar en canales de comunicación bajo circunstancias difíciles con baja SNR y aun así ofrecen gran capacidad - como resultando del gran ancho de banda.

IV. BAJA PROBABILIDAD DE INTERCEPCIÓN Y DETECCIÓN: LPID

Los pulsos UWB son modulados en el tiempo con códigos que son únicos para cada par transmisor/receptor. El tiempo de modulación de pulsos extremadamente estrechos añade más seguridad aún a la transmisión UWB, dado que detectar pulsos del orden de pico-segundos sin saber cuándo llegarán es casi imposible.

Por todo ello, los sistemas UWB prometen proporcionar comunicaciones seguras con baja probabilidad de Intercepción y Detección (LPI/D, del inglés *LowProbability of Interception/Detection*).

V. RESISTENCIA AL JAMMING

Por el término *jamming* entendemos la emisión deliberada de señales de radio con el objetivo de empobrecer la relación señal a ruido (SNR) de cierta comunicación.

En este punto es necesario definir la Ganancia de Procesamiento como sigue:

$$PG = \frac{\text{Ancho de Banda de Radio} - \text{Frecuencia}}{\text{Ancho de Bandade Información}}$$

La diversidad frecuencial presente en las señales UWB debido al alto valor de este ratio convierte en una tarea casi imposible hacer un *jamming* simultáneo de todo el rango de frecuencias abarcado. Esto es a lo que nos referimos cuando hablamos de “inmunidad” ante posible *jamming*.

VI. BUEN RENDIMIENTO EN CONDICIONES DE MULTITRAYECTO

El multirayecto, ilustrado en la siguiente figura, es un problema inevitable en canales de comunicaciones *wireless*,

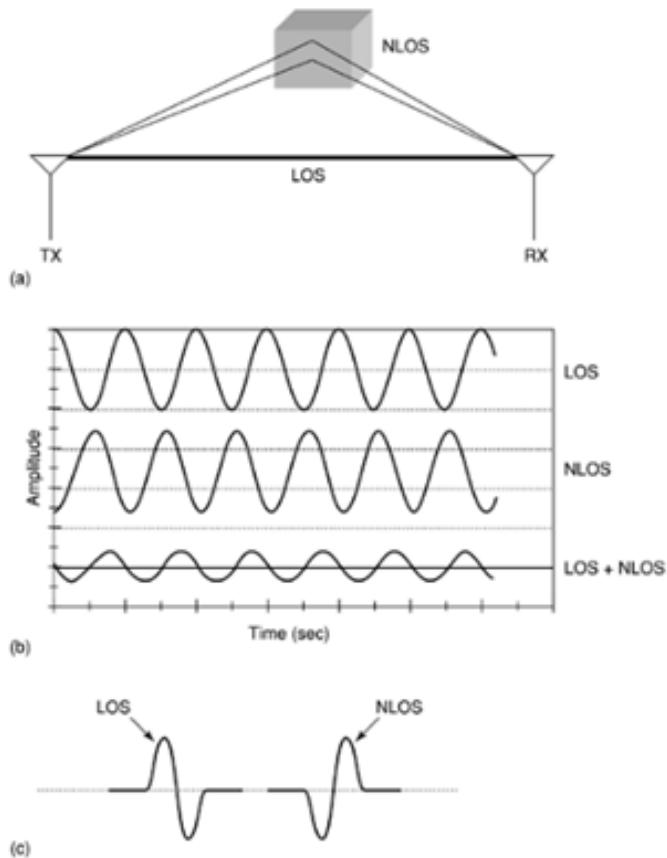


Figura 52. (a) Multirayecto sobre enlaces wireless, (b) Efecto sobre señales de banda estrecha, (c) Efecto sobre pulsos UWB

El desvanecimiento por multirayecto es causado por las múltiples reflexiones de la señal transmitida sobre superficies tales como muros, muebles, personas,...que co-interfieren y no pueden ser resueltas por el receptor de radio.

La línea directa entre transmisor y receptor se conoce como LOS (del inglés *Line of Sight*), mientras que las señales provenientes de reflexiones sobre otras superficies se conocen como NLOS (*Non Line of Sight*). Los escenarios NLOS pueden causar un bloqueo de la recepción de la señal.

La corta duración de los pulsos UWB (del orden del nano-segundo) los hace menos sensibles a efectos de multirayecto. Dado que la duración de la transmisión es, habitualmente, inferior al nano-segundo, el pulso reflejado tiene una probabilidad extremadamente pequeña de colisionar con el pulso LOS y causar degradación.

VII. PROPIEDADES DE PENETRACIÓN

Los sistemas UWB pueden penetrar efectivamente a través de diferentes materiales. Las bajas frecuencias incluidas en el amplio rango de frecuencias UWB presentan grandes longitudes de onda, lo cual permite a las señales UWB penetrar en obstáculos tales como muros. Esta propiedad convierte a las tecnologías UWB en una solución viable para comunicaciones a través de muros y radares penetrantes en el suelo.

VIII. ARQUITECTURA SIMPLE DEL TRANSCEPTOR

En este caso, la clave reside en la ausencia de portadora. Debido a ello, la transmisión UWB requiere menos componentes de radio frecuencia. Por ello, la arquitectura del transceptor UWB es significativamente más simple (y menos costosa) de construir que en el caso de señales clásicas de banda estrecha.

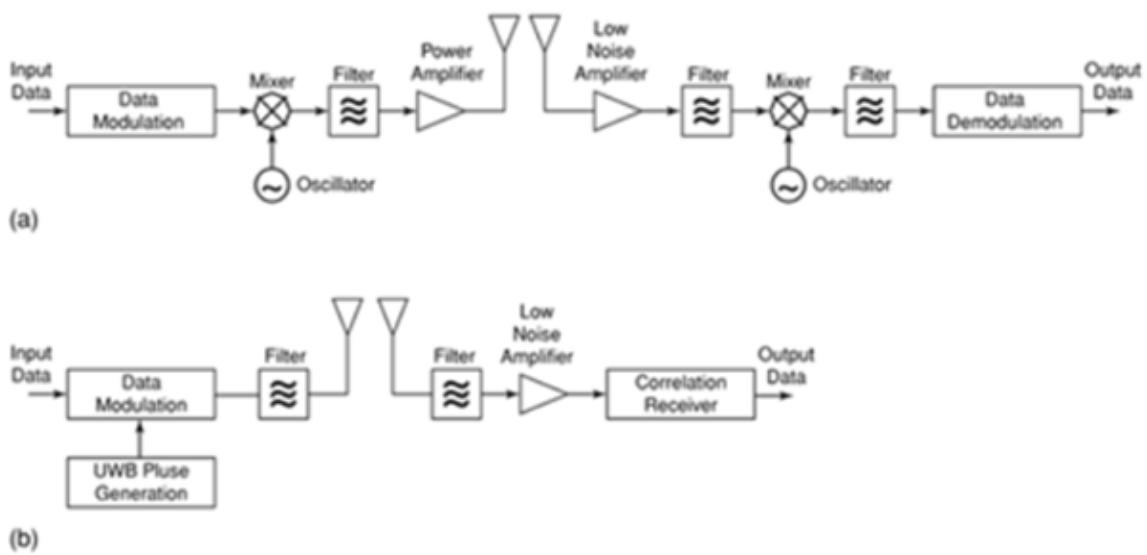


Figura 53. Transceptores. (a) Arquitectura típica del transceptor de banda estrecha

(b) Ejemplo de transceptor UWB

La transmisión de señales de baja potencia elimina la necesidad de un amplificador de potencia en el transmisor. Por otro lado, como ya se mencionó antes, la ausencia de portadora provoca que no sean necesarios los mezcladores y los osciladores locales que traduzcan la frecuencia de portadora a la banda de frecuencia requerida.

Por la misma razón tampoco se necesita una etapa de recuperación de portadora en el extremo receptor de la comunicación.

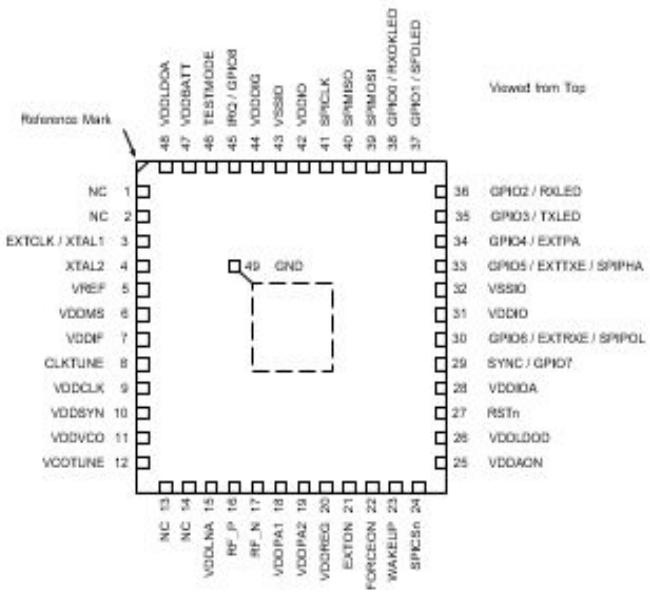
C.1 DATASHEET DW1000



PRODUCT INFORMATION: DW1000

Technical Data

- Supports 110 kbit/s, 850 kbit/s & 6.8 Mbit/s data rates
- 6 frequency bands supported with center frequencies from 3.5 GHz to 6.5 GHz
- Transmit Power -14 dBm or -10 dBm
- Transmit Power Density < -41.3dBm / MHz
- Preamble Length 64 µs to 4 ms
- Supports Packet Sizes up to 1023 bytes
- Modulation: BPM with BPSK
- Integrated FEC and CRC insertion and checking
- SPI interface to host controller (20 MHz max)
- Allows easy integration with wide range of µControllers
- Single Supply Voltage 2.8 V to 3.6 V
- Low Power Consumption
 - Transmit mode from 31 mA*
 - Receive mode from 64 mA*
 - 2 µA watchdog timer mode
- 100 nA deep sleep mode
- Media Access Techniques
 - FDMA: 6 channels
 - CDMA: 12 different channel codes



DW1000 Pin Diagram

- Supports both two way ranging and one way ranging, using Time of Flight (TOF) and time difference of arrival (TDOA) methods
- Fabricated in 90 nm CMOS
- Industrial temperature range -40°C to +85°C
- 6 mm x 6 mm 48 pin QFN package
- Hardware & software applications support material available from DecaWave

C.2 IMPLEMENTACIÓN

En el modo bidireccional, dos unidades funcionan como un par. Una unidad actúa como una "etiqueta" que inicia el intercambio de alcance y la otra unidad actúa como un "ancla" que escucha los mensajes de la etiqueta y realiza intercambios bidireccionales con ella como se muestra en la siguiente figura [16].

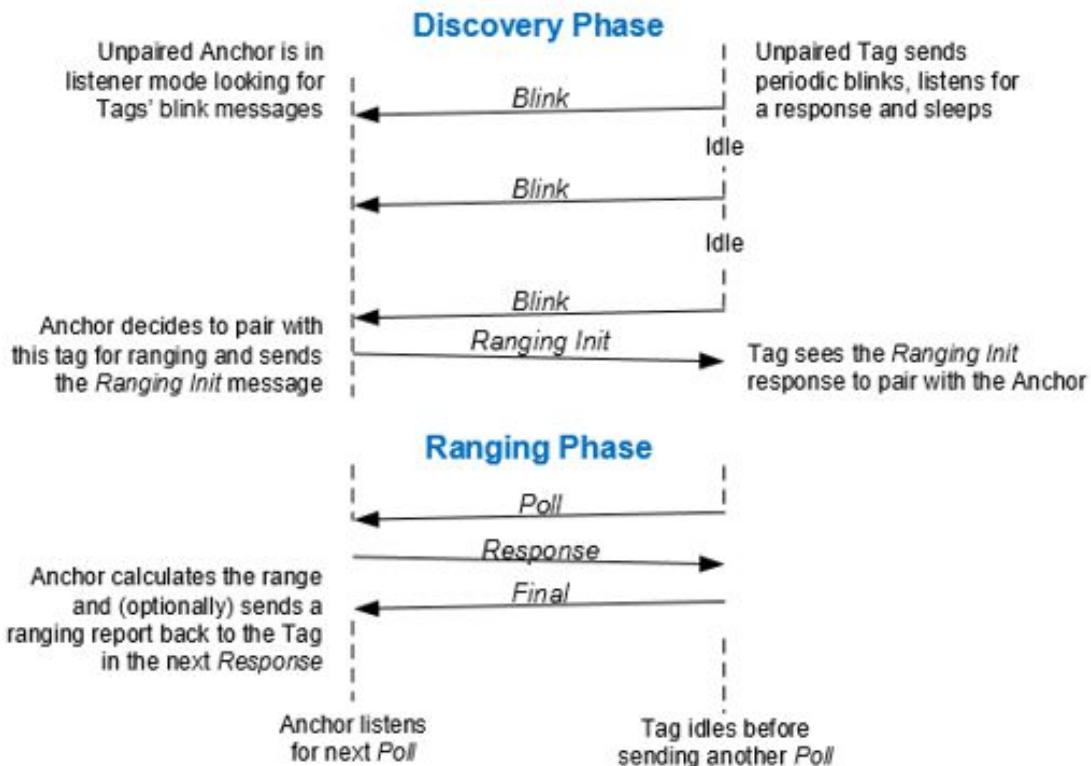


Figura 54. Trama de fase de descubrimiento y clasificación

I. FASE DE DESCUBRIMIENTO

Inicialmente, la etiqueta está en una fase de descubrimiento en la que periódicamente envía un mensaje *Blink* que contiene su propia dirección y escucha esperando recibir una respuesta de *Init* de *Ranging* desde un ancla. Si la etiqueta no obtiene esta respuesta, duerme durante un período (predeterminado de 1 segundo) antes de enviar el mensaje *Blink* de nuevo. El ancla está inicialmente en modo escucha y, cuando reciba un mensaje *Blink*, enviará un mensaje *Ranging Init* a la etiqueta, que completará la fase de descubrimiento y entrará en la fase de localización.

II. FASE DE LOCALIZACIÓN

La etiqueta realiza periódicamente intercambios bidireccionales con el ancla. Cada intercambio bidireccional consiste en que la etiqueta envía el mensaje *Poll*, recibe el mensaje de respuesta y luego envía el mensaje final. El ancla también envía un TOF anterior en el mensaje de respuesta a la etiqueta, permitiendo a la etiqueta calcular la distancia a la que se encuentra.

D.1 PROCESO PCB DE LAS 3 ANTENAS

Para cada una de las tres antenas que se probaron fue necesario diseñar y fabricar un PCB con ayuda de las fichas técnicas de cada una. Se muestran a continuación:

- *ABRACON*

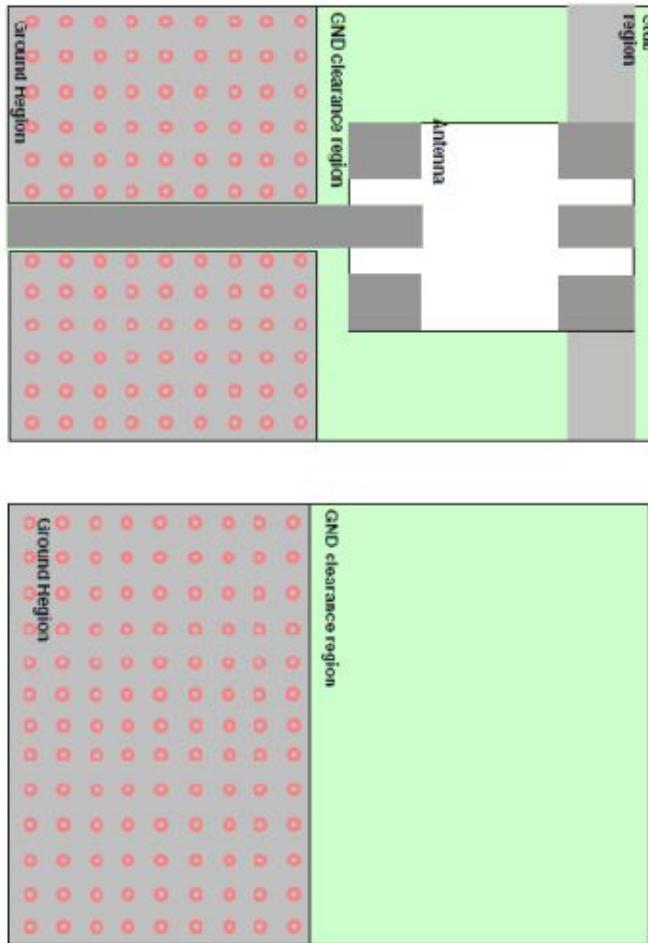


Figura 55. PCB antena Abracón

Se trata de un circuito impreso de doble cara. En la cara superior se soldará la antena. Esta cara contiene también la línea de transmisión de conexión (horizontal) y un tramo en circuito abierto para adaptación de impedancia (vertical). La cara inferior contiene un plano de tierra

Las dimensiones se obtuvieron de la ficha técnica, se muestran en la siguiente figura.

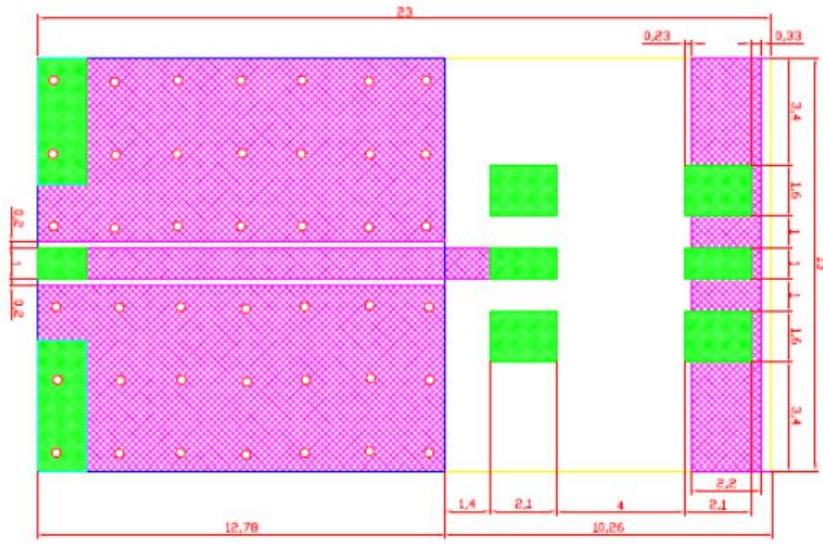


Figura 56. Dimensiones del PCB para la antena Abracon

- **JOHANSON**

En el caso de la antena Johanson, la antena se soldará en la capa inferior donde los dos de las patas de la antena irán conectadas a tierra.

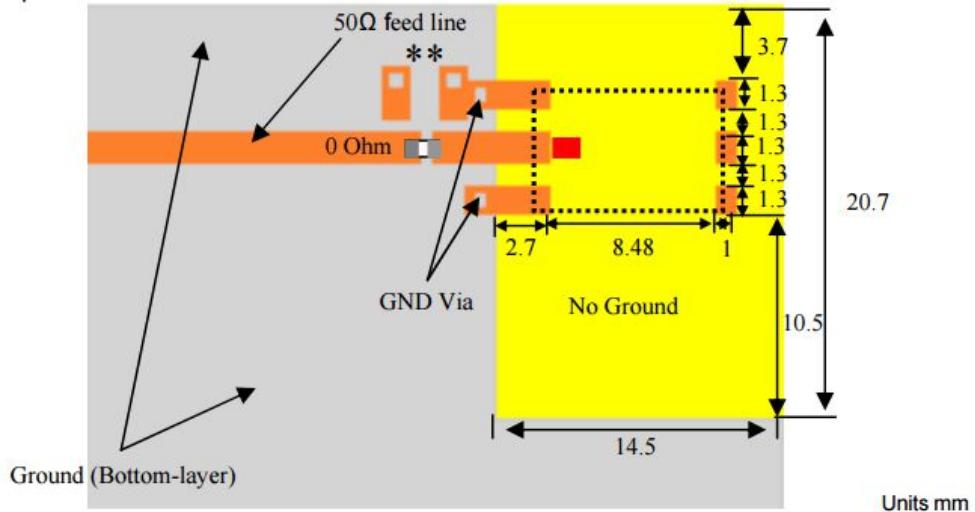


Figura 57. PCB antena Johanson

- *TAIDO*

El PCB para el montaje de antena es similar al caso de la antena *Johanson* se puede apreciar en la siguiente figura

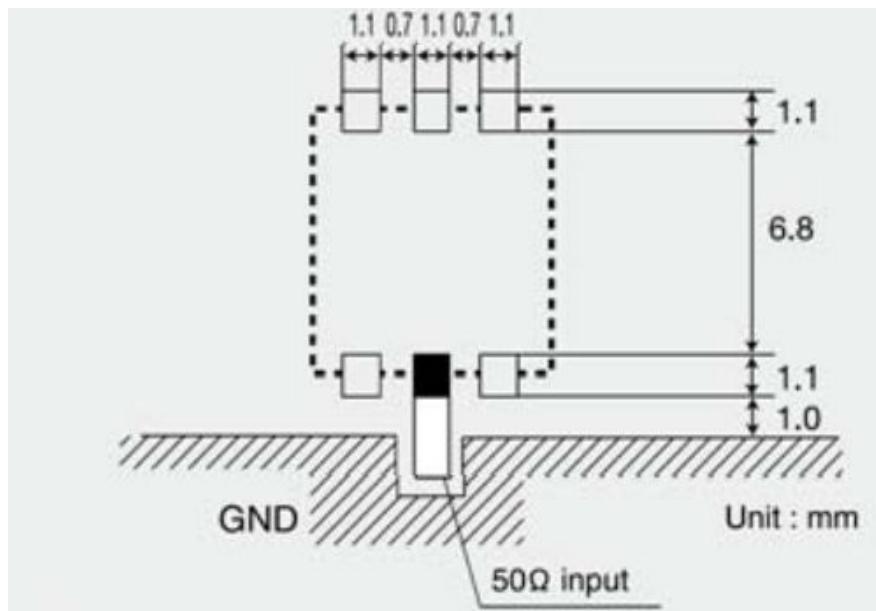


Figura 58. PCB antena *Taido*

Las antenas *Johanson* y *Taido* requieren un PCB más simple y sencillo que la antena *Abracon*, dato que se deberá tener en cuenta junto al precio y tamaño de las mismas si las antenas ofrecen unas respuestas parecidas en la práctica.

D.2 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Como se indica en las fichas técnicas, las antenas deben conectarse mediante líneas de transmisión con impedancia característica de 50 ohmios, que al realizarse mediante tiras de cobre en el PCB se consideran líneas *microstrip*.

La constante dieléctrica efectiva de una línea *microstrip* está dada aproximadamente por:

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12d/W}}.$$

La constante dieléctrica efectiva se puede interpretar como la constante dieléctrica de un medio homogéneo que equivalentemente reemplaza al aire y regiones dieléctricas de la línea *microstrip* como se muestra en la figura 57. Dadas las dimensiones de una línea *microstrip*, la impedancia característica puede calcularse como:

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_e}} \ln \left(\frac{8d}{W} + \frac{W}{4d} \right) & \text{for } W/d \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_e} [W/d + 1.393 + 0.667 \ln(W/d + 1.444)]} & \text{for } W/d \geq 1. \end{cases}$$

Para una impedancia característica Z_0 dada y una constante dieléctrica ϵ_r , la relación W/d puede hallarse de la siguiente forma:

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} & \text{for } W/d < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] & \text{for } W/d > 2, \end{cases}$$

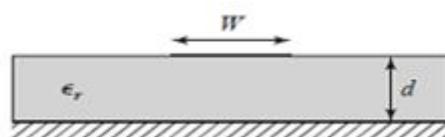


Figura 59. Geometría original de una línea microstrip cuasi-TEM.

Donde:

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}.$$

Considerando una línea *microstrip* como una línea quasi-TEM, se puede determinar la atenuación debido a pérdidas en el dieléctrico como:

$$\alpha_d = \frac{k_0 \epsilon_r (\epsilon_e - 1) \tan \delta}{2\sqrt{\epsilon_e}(\epsilon_r - 1)} \text{ Np/m,}$$

Donde $\tan \delta$ es la tangente de pérdidas del dieléctrico. Este resultado se obtiene a partir mediante la multiplicación por un “factor de relleno”.

$$\alpha_d = \frac{k \tan \delta}{2} \text{ Np/m (TEM waves).}$$

$$\frac{\epsilon_r(\epsilon_e - 1)}{\epsilon_e(\epsilon_r - 1)},$$

La cual representa el hecho de que los campos alrededor de la línea *microstrip* están en parte en el aire (sin pérdida) y en parte en el dieléctrico (con pérdida). La atenuación debida a la pérdida del conductor está dada aproximadamente por:

$$\alpha_c = \frac{R_s}{Z_0 W} \text{ Np/m,}$$

Para completar el diseño a partir de la fórmula de W/d , se necesita conocer la permitividad del sustrato y el espesor del mismo (d). En este caso, el material del sustrato disponible es FR4 y su permitividad se encuentra entre 4,4~4,8 y el espesor de la placa es de 0.4 mm. De esta manera, para una línea de 50 ohmios de impedancia características se obtuvo $W= 0,87\text{mm}$. Con esta dimensión se fabricaron las líneas eventualmente los adaptadores de impedancia.

