

Utilización de LoRa como soporte de sistemas colaborativos en turismo de montaña

Alejandro E. Dello Russo

Dep. Ing. Eléctrica y de Computadoras

Universidad Nacional del Sur

Bahía Blanca, Argentina

alejandroedr@gmail.com

Julián A. Ferrari

Base Naval Puerto Belgrano

Armada Argentina

Bahía Blanca, Argentina

julianferrari3@gmail.com

Rodrigo M. Santos

Dep. Ing. Eléctrica y de Computadoras - ICIC

Universidad Nacional del Sur - CONICET

Bahía Blanca, Argentina

ierms@uns.edu.ar

Resumen—Este trabajo presenta un sistema de asistencia a turistas en un entorno de parques o reservas naturales donde pueden recorrer senderos previamente demarcados. Estos senderos tienen diferente dificultad para los visitantes y en ocasiones pueden presentarse inconvenientes de distinta índole como extravíos o accidentes. En muchos casos, los parques no cuentan con cobertura de telefonía móvil complicando el control por parte de los guardaparques. El sistema propuesto pretende brindar asistencia durante todo el recorrido para facilitar, en caso de ser necesario, la búsqueda y rescate de los turistas en dificultades. Se presenta aquí el diseño del sistema y el protocolo de comunicación. Así mismo se agregan pruebas de campo de un prototipo.

Index Terms—Sistemas ciberfísicos, sistemas colaborativos, redes oportunistas

I. INTRODUCCIÓN

Las actividades turísticas asociadas a parques o reservas naturales se han extendido en los últimos años con la creciente demanda de actividades ecoturísticas. La regulación por parte de guardaparques busca proteger al ambiente de un accionar dañino por parte de las personas que pudiera afectar la calidad medioambiental del lugar. De este modo se han restringido las actividades de acampe, pesca, trekking, entre otras y se han habilitado senderos, recorridos y puntos de avistaje específicos de flora y fauna. En la Argentina hay numerosas reservas y parques con este tipo de turismo administrado como pueden ser el Parque Provincial Tornquist en la provincia de Buenos Aires, la Reserva Natural Península de Valdés en la provincia de Chubut, Parque Nacional Los Alerces y Parque Nacional Nahuel Huapi en la provincia de Río Negro. A su vez en la zona de la Cordillera de los Andes hay controles para el ascenso y descenso a diferentes montañas, con guías o sin ellos, dependiendo de la dificultad del trayecto y la experiencia de los turistas. Es usual que en parques de este estilo se produzcan extravíos, accidentes o descompensaciones, que requieran operativos de búsqueda y rescate de turistas, en ocasiones con desenlaces trágicos.

LoRa [1] se inscribe dentro de las tecnologías de bajo consumo y largo alcance. Al igual que SigFox pertenece a las denominadas LPWAN (Low Power Wide Area Network) [2], [3] para brindar conectividad en ambientes donde no hay acceso a Internet. En América Latina la adopción de

facto de LoRa ha facilitado la implementación de aplicaciones relacionadas al manejo de emergencias ante desastres naturales [4], así como también para la instrumentación de aplicaciones relativas a la agricultura de precisión [5]. En [6], los autores han propuesto recientemente un sistema de apoyo a los turistas en parques o reservas con vegetación espesa como la que se encuentra en aquéllos propios de espacios selváticos.

I-A. Contribución

En este trabajo se propone un sistema colaborativo basado en la utilización de una red de comunicación LoRa para brindar servicios turísticos a visitantes de reservas o parques naturales. El sistema se basa en una red fija de nodos desplegados a lo largo del recorrido del sendero, distribuidos en posiciones estratégicas conocidas [7]. Cuando un turista ingresa al predio se conecta con la base y se registra su entrada. A medida que se introduce en el sendero irá tomando contacto con los puntos de conexión como una suerte de *waypoints* que va alcanzando. La base puede saber en qué parte del recorrido se encuentra el turista sin necesidad de uso de GPS, y además puede saber si lleva buen tiempo o corre riesgo de quedarse sin luz diurna. El turista puede recibir notificaciones de la base y viceversa. Finalmente, cuando se retira del predio, se registra su salida. Se presenta un caso de estudio sobre el Parque Provincial Tornquist y se realizan pruebas de concepto del prototipo desarrollado para verificar la factibilidad de la solución propuesta.

En la Figura 1 se presenta un posible escenario sobre el que se desarrolla la aplicación. El Parque Provincial Tornquist en la Provincia de Buenos Aires comprende una serie de cerros bajos, hasta 1239 m s.n.m. el más elevado sobre un área de 63 km². Para acceder al mismo hay diferentes puestos de ingreso que permiten realizar excursiones sobre distintos senderos con variada dificultad. En la imagen tomada de Google Earth ® se muestra el sector correspondiente al Cerro Ventana (1136 m s.n.m), cuya cumbre tiene una formación rocosa con forma de ventana, y algunos senderos adicionales que demandan menos esfuerzo físico.

En la sección II se analizan algunos trabajos relacionados con la propuesta de este artículo y se remarcan las diferencias. En la sección III se presenta el modelo del sistema con sus principales actores y relaciones. En la sección IV se presenta

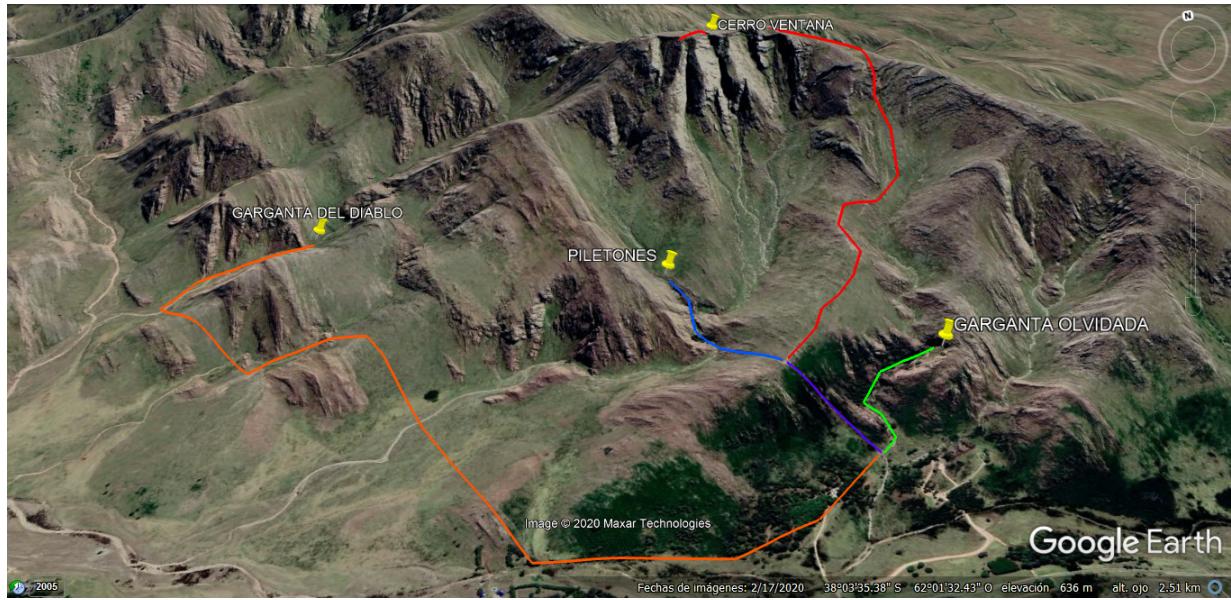


Figura 1: Escenario propuesto. Parque Provincial Tornquist. Acceso Cerro de la Ventana

el modo en que se despliega la red en el terreno. En la sección V se describe el protocolo de comunicación y el modo en que los mensajes se transfieren entre dispositivos. En la sección VI se presenta un análisis temporal de la red y se estiman los tiempos de propagación. Luego en la sección VII se detallan los ensayos realizados, y finalmente en la sección VIII se extraen las conclusiones.

II. TRABAJOS PREVIOS

La literatura en cuanto al diseño de los sistemas colaborativos es amplia y se pueden mencionar entre otros los trabajos [8]–[10] en los que se plantean diferentes propuestas de modelado para la especificación y el diseño.

La idea de introducir personas como sensores que contribuyan con el proceso de monitoreo y relevamiento de la situación, se ha investigado y propuesto en distintas publicaciones [11], [12]. Se suma además la posibilidad de utilizar dispositivos móviles autónomos que brinden la conectividad necesaria en los casos en que se pierda [13], [14] para poder garantizar de ese modo conectividad en tiempo real [15], [16].

El uso de sistemas basados en IoT para brindar asistencia en actividades de búsqueda y rescate se planteó en [17], [18] en donde, con diferentes orientaciones, una red LoRa se utiliza para brindar soporte para la búsqueda de personas en el primer caso y para la evacuación en el segundo.

En [19], en tanto se presenta un sistema de soporte para búsqueda de turistas en senderos de trekking basado en dispositivos que se comunican por radio frecuencia. En [6], de reciente publicación, los autores extienden el trabajo anterior con el uso de LoRa en el marco de parques y reservas naturales en las cuales exista una vegetación frondosa. El sistema planteado utiliza un conjunto de mensajes prefijados y actualiza la posición en caso de ser necesario el rescate de

una persona. Para esto utiliza triangulación por la intensidad de la señal de radio de acuerdo a [20].

III. MODELO DEL SISTEMA

Para modelar el sistema se hace uso de la propuesta de Herskovic para sistemas colaborativos [8]. Se comienza entonces definiendo a los actores y sus interacciones en el marco de las tres C (Comunicación, Coordinación, Colaboración) de acuerdo a las condiciones de alcanzabilidad y simultaneidad. Luego se describe el modelo de comunicación utilizando los enlaces LoRa y finalmente las herramientas utilizadas.

III-A. Definición de actores

Turista: Provisto de un dispositivo de comunicación, una vez que el turista ingresa al sistema se le realiza un seguimiento constante hasta el momento que registre su salida. Con su dispositivo tiene contacto con los actores que están en su rango de alcance, pudiendo proyectarse más allá a través de la red.

Guardaparque: Al igual que el turista interactúa con la red pero administrando otra información en su carácter de autoridad.

Red de Nodos (Faros): Conforma la estructura fundamental sobre la que se desarrolla el trabajo colaborativo. Para diferenciarlo de los nodos móviles, que pueden ser los turistas o guardaparques, a los dispositivos fijos de la red se los denomina faros. Si se trata de una red lineal, la comunicación entre los faros será entre el predecesor y el sucesor (N_{n-1} con N_n y con N_{n+1}).

Base: Se define fijo en un lugar desde donde se administra toda la información a la vez que se imparten directivas. Es el nodo origen de la red de faros.

Estación Monitoreo/Meteorológico: Es un dispositivo necesario para estimar la seguridad de los turistas durante las

horas de su travesía. Los datos proporcionados por sistemas de este estilo, emplazados en distintos lugares del recorrido, pueden alertar a la red de cambios en el clima o cualquier otro evento que implique un riesgo para los individuos, como incendios, deslizamientos, derrumbes, etc.

III-B. Caracterización de los roles

La red de faros, que se establece sobre un camino de trekking de varios kilómetros, conforma un troncal de comunicación bidireccional. En la Figura 2 se muestra un esquema del modelo de interacciones propuestos entre los distintos actores del sistema y sus roles. La relación entre actores es simultáneamente alcanzable (SR *Simultaneous Reachable*) porque para que la información se transfiera entre ellos deben estar trabajando juntos y a la vez [8]. En este esquema se toma como ejemplo una situación donde hay un turista perdido, cuya última comunicación la indica la línea punteada. La base detecta que pasó mucho tiempo sin que ese turista se reporte con la red, pero tiene la ubicación del último nodo al que se registró. A partir de esta situación, la base notifica a través de la red al guardaparque más cercano para que registre aquella área y tenga contacto con el extraviado. Este dato puede ser crucial si la persona sufrió un accidente y necesita asistencia inmediata. De otra manera la desaparición del turista no es evidente sino hasta pasadas muchas horas, pudiendo ser demasiado tarde.

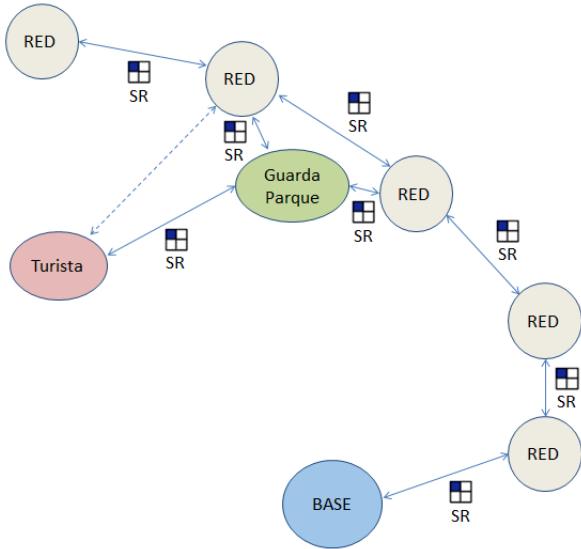


Figura 2: Diagrama general de actores y sus roles en el sistema. SR: Simultaneous Reachable. (Trabajando juntos y a la vez)

Los dispositivos de la infraestructura, funcionan como localizadores de los nodos móviles que poseen los turistas. Los faros emiten una señal periódicamente para explorar su entorno y verificar la presencia de nodos móviles. Cuando el dispositivo de un turista recibe esta señal, emite una respuesta con su número de identificación. El faro identifica este número y lo envía hacia la base a través de la estructura.

Inmediatamente la base actualiza la ubicación de ese turista. Al estar los faros georeferenciados, el nodo móvil puede conocer su localización sin necesidad de usar GPS. El dispositivo que lleva el turista puede enviar los datos que recibe del faro a un teléfono móvil a través de una comunicación Bluetooth. De esta manera la persona puede visualizar en una aplicación de su celular información sobre las actividades habilitadas en ese sitio como acampar, pescar, hacer fuego, o quizás datos sobre la flora y fauna de las inmediaciones o la descripción de un monumento natural.

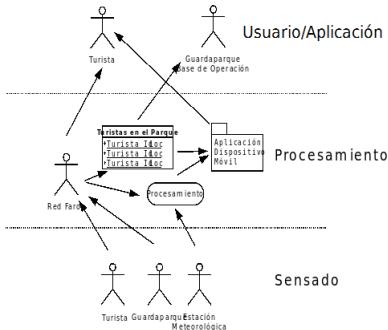


Figura 3: Representación del sistema por capas de actividad

En la Figura 3 se presentan los actores que intervienen en el sistema separados en tres capas de acción diferentes que se adecúan a un enfoque de sistema colaborativo en el marco de Internet de las Personas (IoP), en el cual los usuarios finales también son a la vez generadores de información [21]. Como se aprecia, los turistas y los guardaparques tienen la doble función de generar datos desde la capa de sensado y consumirlos en la capa de aplicación. Una estación de monitoreo puede brindar información útil para determinar las condiciones de seguridad de los turistas en el parque. En la capa de procesamiento, la red de faros alimenta la base de datos donde se identifica a los turistas y sus localizaciones, y brinda la información necesaria para monitorear la situación. La aplicación se actualiza con la posición provista por la red de faros para indicar a los turistas la información relevante del lugar en el que se encuentran.

III-C. Funciones de los faros de la infraestructura

Los faros inicián la comunicación con los usuarios o nodos móviles que, si son alcanzados por dos o más de ellos, eligen la señal que tenga mayor nivel de energía o *Received Signal Strength Indication* (RSSI).

En el momento en que un nodo móvil reconoce la señal de un faro se identifica y pasa a estar entonces dentro de su órbita. De esta manera, el sistema de monitoreo geolocaliza al turista en la zona. La propagación de los mensajes hasta la base (y viceversa) se hace en una secuencia de saltos. El despliegue de la red está implementado de manera de brindar conectividad con redundancia. De este modo un faro está conectado con sus dos faros inmediatos superiores, y con sus dos faros inmediatos inferiores.

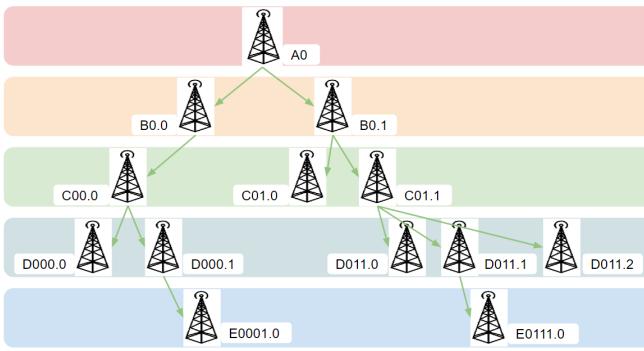


Figura 4: Topología propuesta para la red

LoRa permite varias configuraciones de modulación que resultan en canales ortogonales entre sí y por lo tanto puede considerarse libre de interferencias. Esta característica se utiliza para diferenciar la comunicación entre faros de aquélla entre faros y nodos móviles.

III-D. Funciones del Nodo móvil (Turista)

Cuando un turista ingresa al sistema se acopla a la red y su ubicación se monitorea durante todo el recorrido. El dispositivo móvil se compone de un circuito para comunicación por LoRa y otro circuito para comunicación por Bluetooth. El primero se utiliza para la conexión con la red de faros, y el segundo para enlazarse con una aplicación de un teléfono celular. Esta aplicación, que se descarga previo a ingresar al centro turístico, contiene toda la información relativa a las excursiones de la zona, y puede ser exhibida en función de los faros a los que se vaya conectando en su recorrido. Además puede recibir notificaciones de carácter urgente impuestas por la base como directivas.

IV. TOPOLOGÍA DE LA RED

Debido a que puede existir una gran diversidad de senderos para recorrer, se optó por una topología tipo árbol con el nodo origen como la base o centro de registro de turistas. Cada faro está identificado con una letra que indica el nivel dentro del árbol y un número que identifica la rama de su predecesor y la rama del faro actual. Conforme la red se extiende, a este identificador se le irá asignando un nuevo número que es propio de la rama del predecesor. De esta manera, el faro que recibe un mensaje, sabe exactamente por qué camino llegó y resulta sencillo indicar el camino de vuelta para responderlo.

Cada faro se identifica con un nivel, sus antecesores y su número de rama. Esto es, la etiqueta se define como el nivel A, B, C, ... el número de la rama padre y todos sus antecesores, y finalmente el número de rama del faro actual. Es decir, por cada nivel o generación, el faro copia la etiqueta de su padre y le incorpora al final su número de rama. Siguiendo el ejemplo del árbol de la Figura 4, las etiquetas se conforman como indica la Tabla I.

A medida que avanzan los niveles se suma información a la etiqueta del faro. Si se limita el número de bifurcaciones de

Nivel A	Faro origen	A	0				
Nivel B	Faro 1.1	B	0	0			
	Faro 1.2	B	0	1			
Nivel C	Faro 2.1	C	0	0	0		
	Faro 2.2	C	0	1	0		
	Faro 2.3	C	0	1	1		
Nivel D	Faro 3.1	D	0	0	0	0	
	Faro 3.2	D	0	0	0	1	
	Faro 3.3	D	0	1	1	0	
	Faro 3.4	D	0	1	1	1	
	Faro 3.5	D	0	1	1	2	
Nivel E	Faro 4.1	E	0	0	0	1	0
	Faro 4.2	E	0	1	1	1	0

TABLA I
Conformación de etiquetas para los faros

una ramificación hasta un máximo de 16 posibles caminos, cada byte puede representar dos niveles predecesores, y entonces se duplica la cantidad de niveles representados. Por ejemplo, un árbol con una rama de 10 niveles necesita 10 faros. El último faro o *faro hoja*, tendría en este caso una etiqueta de 5 bytes (6 si se considera la letra que indica el nivel) con la solución propuesta.

Como condición de diseño se limitó el numero máximo de bytes a 12 bytes por etiqueta. Con esto se tiene 1 byte para representar la letra del nivel y 11 bytes para representar hasta un faro hoja de 22 niveles. Los enlaces LoRa están diseñados para alcanzar varios kilómetros de distancia, dependiendo del relieve y la vegetación, pudiendo cubrir una gran extensión de terreno con toda la cadena de faros.

V. PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

El sistema posee un *handshake* que implica una comunicación interna entre faros de la red, o entre faros y nodos móviles. Para entender el protocolo se separa la explicación en dos bloques.

V-A. Protocolo Faro - Faro

El diálogo entre los faros de la red es muy diverso y se identifica con códigos que representan una función. Toda comunicación que se transmite requiere un ACK (acknowledge) para su confirmación. El paquete de comunicación que utilizan los faros dentro de la red se presenta en la Figura 5.

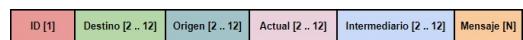


Figura 5: Paquete de datos de un mensaje interno de la red

- ID: Es el identificador o código de mensaje. Es un byte que indica el tipo de mensaje que se transmite. En la Tabla II se detallan los principales tipos de mensajes.
- Destino: Indica el faro al que se quiere enviar el mensaje. Puede variar de 2 a 12 bytes, dependiendo de la etiqueta o nombre del faro destino (mientras más lejos más larga será la etiqueta).
- Origen: Indica el faro que originó el mensaje. Puede variar de 2 a 12 bytes, dependiendo de la etiqueta del faro origen.

- Actual: Indica el faro que actualmente recibió el mensaje, y en función de lo que indique ID, debe realizar la comunicación correspondiente. Puede variar de 2 a 12 bytes, dependiendo de la etiqueta que éste faro posea.
- Intermediario: Indica el faro consecutivo al que debe retransmitirse el mensaje, para que continúe la cadena de transmisiones hasta llegar al faro destino. Puede variar de 2 a 12 bytes, dependiendo de la etiqueta del faro.
- Mensaje: Este campo contiene información funcional al sistema, y va a depender exclusivamente del código ID que contenga el paquete. Este campo puede incluso estar vacío, solo se agregan datos si el código de mensaje así lo requiere (casos especiales).

Los diferentes intercambios que se pueden dar dentro de este protocolo se describen en la Figura 6.

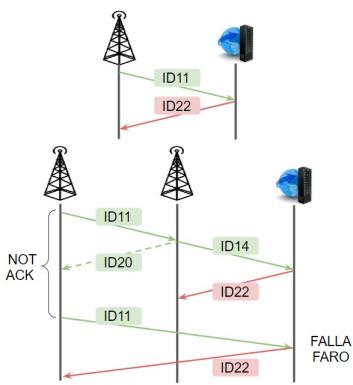


Figura 6: Protocolo Faro - Faro

El primer caso ejemplifica un faro que transmite un mensaje a la base indicando la presencia de un turista dentro de su radio de cobertura con un mensaje con ID 11, a lo que la base responderá con un mensaje de ID 22 que indica una confirmación *ACK*. Esta codificación de identificación de mensajes se detallan en la Tabla II. La otra situación que ejemplifica la Figura 6 representa un intercambio entre dos faros, indicando la presencia de un turista en la red. El primero transmite un mensaje con ID 11 indicando que ha detectado a un turista en su radio de cobertura. El segundo recibe este mensaje y lo retransmite hacia la base con un ID 14, e inmediatamente responde al primero con un mensaje de confirmación con ID 20. Luego la base confirmará la recepción al segundo faro con un mensaje ID 22. Si el segundo faro no retransmite, entonces el primer faro no recibirá el *ACK*. El primer faro enviará el mensaje directamente hacia el faro siguiente, en este caso la base, salteando al dañado. El mensaje sigue teniendo un ID 11 pero agrega un flag de error indicando el lugar de la falla. La base responde con una confirmación ID 22. Para indicar el lugar de la falla solo es necesario indicar el nivel donde no se recibió *ACK*, en lugar del identificador de faro, para reducir el tamaño del mensaje.

V-B. Protocolo Faro - Turista

Para el caso donde la comunicación se establece entre un nodo móvil y un faro se utiliza un paquete como el que se observa en la Figura 7.

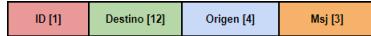


Figura 7: Paquete de datos de un mensaje de un Turista a la Red

- ID: Es un byte que indica el tipo de mensaje que se transmite. En la Tabla III se detallan los tipos de mensajes.
- Destino: Indica el faro al que se quiere enviar el mensaje. Puede variar de 2 a 12 bytes, dependiendo de la etiqueta o nombre del faro destino.
- Origen: Indica la identificación del turista. Se define con 4 bytes.
- Mensaje: Este campo puede estar vacío; depende del código de función que tenga el campo ID.

Para el caso en que un turista sufra un accidente o se pierda y deba efectuar transmisiones de emergencia, se enviará un paquete como el que se muestra en la Figura 8.



Figura 8: Paquete de emergencia de un mensaje de un Turista solicitando socorro

El campo “Destino” es innecesario porque el mensaje será para cualquier faro o nodo móvil que lo reciba. Este mensaje tendrá como ID el numero 43, que es la función de emergencia que indica que el turista necesita asistencia.

- Saltos: Indica la cantidad de veces que el mensaje puede ser retransmitido, en el caso que vaya pasando a través de nodos móviles. Este campo utiliza un byte. El número de saltos es discrecional

Si este mensaje lo recibe un faro, entonces la red ejecutará su función interna correspondiente para dar aviso a la base. En caso que el mensaje lo reciba otro turista, éste tiene la obligación de retransmitir la petición como un nuevo mensaje con ID 45, cuyo formato se observa en la Figura 9.

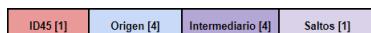


Figura 9: Paquete de emergencia de un mensaje de un Turista retransmitido por otro turista

En este caso se define un campo “Intermediario”, el cual indica el número de turista que está haciendo la retransmisión del mensaje de emergencia original. En el campo “Saltos” se decremente una unidad cada vez que se retransmite el mensaje. Esta retransmisión puede recaer sobre otro turista y luego otro sucesivamente, hasta que el mensaje de ID 45 alcance un faro, dando inicio a la función interna de la red para llevar el mensaje hasta la base.

ID	Dirección	Descripción	Destino	Origen	Actual	Intermediario	Mensaje
20	Base ->Faro	Test de rama (Preguntar por un Faro final)	SI	NO	SI	SI	NO
21	Base ->Faro	Información requerida por turista para visualizar en App	SI	NO	SI	SI	Info para App
22	Base ->Faro	Confirmación de la base (Señal de ACK)	SI	NO	SI	SI	NO
24	Base ->Faro	Retransmisión hacia faro (Pasamanos hacia un faro)	SI	NO	SI	SI (H/N)	NO
10	Faro ->Base	Señal "Estoy Vivo" que envía regularmente un faro	NO	SI	SI	SI	NO
11	Faro ->Base	El faro "vió" un turista y lo informa a la base	NO	SI	SI	SI (P/A)	#Turista, Flag
12	Faro ->Base	Confirmación de un faro (Señal de ACK)	NO	SI	SI	SI	NO
14	Faro ->Base	Retransmisión hacia base (Pasamanos hacia la base)	NO	SI	SI	SI (P/A)	#Turista, Flag
15	Faro ->Base	Alarma climática	NO	SI	SI	SI (P/A)	Info para Base
20	Faro <->Faro	Confirmación entre faros (Señal de ACK)	SI (H/N/P/A)	NO	SI	NO	NO

TABLA II

Códigos de mensaje para funciones de red. N (nieto), H (hijo), P (padre), A (abuelo) # Nro

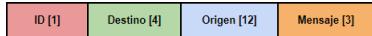


Figura 10: Paquete de datos de un Faro a un Turista

Para la comunicación dirigida desde un faro a un nodo móvil se utiliza el paquete mostrado en la Figura 10.

- Destino: indica el número de turista con el que el faro hizo contacto.
- Origen: Indica la etiqueta del faro que está transmitiendo.
- Mensaje: En este campo se define la información que el turista solicite al faro, al hacerlo con el ID correspondiente.

Las diferentes interacciones que se pueden dar dentro de este protocolo se describen en la Figura 11.

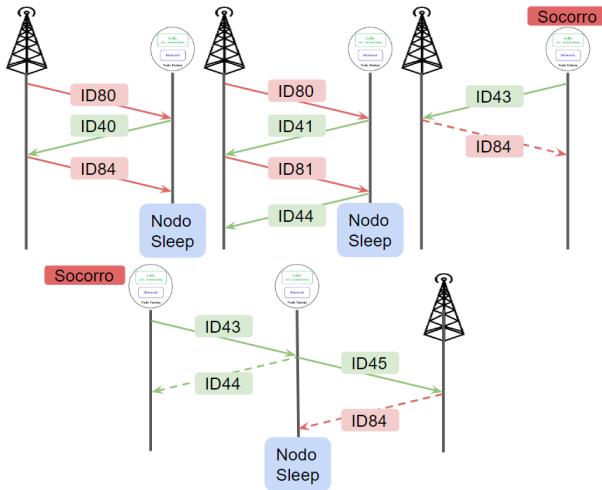


Figura 11: Handshake para el protocolo Faro - Turista

En la Tabla III se detallan todas las codificaciones de los mensajes entre faro y nodos móviles, indicando en cada caso los campos del paquete que se deben usar. La Figura 11 ejemplifica varios casos. En la primera situación, un faro emite un mensaje con ID 80. Cuando un turista ingresa en el radio de cobertura de este faro responde con un mensaje de ID 40 donde se identifica como turista. El faro recibe este dato y lo reconoce con un ACK de ID 84. Inmediatamente el nodo móvil pasa a un estado *sleep* durante un intervalo de tiempo que va a depender del periodo de actualización que requiera

el sistema. El nodo móvil también puede responder con un ID 41 donde solicita información momentánea relativa a su recorrido turístico o cualquier otra información que pueda resultar relevante. A esto, el faro responde con un mensaje ID 81 con la información requerida, respondiendo el turista con un mensaje de confirmación ACK ID 44, pasando a modo *sleep*. La información momentánea adicional es interpretada y visualizada por la aplicación móvil.

En una situación de emergencia el turista puede emitir en cualquier momento un mensaje de auxilio con ID 43. Este mensaje tiene máxima prioridad para el sistema y se repite cuantas veces sea necesario, hasta que reciba la confirmación de recepción de un faro, que lo hará con un ID 84. De todas formas, aún con la confirmación, el nodo móvil seguirá emitiendo la señal de socorro para mantener actualizado su estado.

Puede suceder que la señal de emergencia emitida por un turista no alcance un faro por encontrarse extraviado lejos de la red. En tal caso, la señal de emergencia con ID 43 puede ser recibida por cualquier otro turista que se encuentre en la zona. Un turista puede hacer de enlace entre el turista en emergencia y el faro, retransmitiendo la señal de emergencia con un ID 45 y respondiendo con una señal ACK de ID 44 al turista en situación de socorro. El faro que reciba al intermediario confirmará a su vez a éste con un mensaje de ID 84. Cabe destacar que pueden existir varios turistas intermediarios entre el nodo en emergencia y el faro.

VI. SINCRONIZACIÓN DEL SISTEMA: ANÁLISIS DE TIEMPOS

Los mensajes en el sistema se transmiten con diferente prioridad de acuerdo a la urgencia o importancia que tengan. Frente a esta situación es importante analizar los tiempos con los que cuenta el sistema. Los faros emiten de forma independiente su señal de identificación para conectar con los nodos móviles. El paquete de datos de esta señal es de unos pocos bytes, por lo que el tiempo de transmisión (*time on air*) es muy bajo. No obstante, los faros transmiten esta señal a intervalos de repetición aleatoria para disminuir la probabilidad de que se solapen. La demora extrema a extremo es un parámetro importante a evaluar. Dependiendo el lugar donde se origina el mensaje también será la demora ya que aquellos más alejados requieren de encabezados más

ID	Dirección	Descripción	Destino	Origen	Intermediario	Saltos	Mensaje
40	Nodo ->Faro	Informa al faro la presencia de un nodo enviando su identificación	NO	SI	SI	NO	NO
41	Nodo ->Faro	Idem a ID40 agregando solicitud de información momentánea	SI	SI	NO	NO	NO
43	Nodo ->Faro	Emite mensaje de auxilio apedido del turista	NO	SI	NO	SI	NO
44	Nodo ->Faro	Confirmación de recepción (Señal de ACK)	NO	SI	NO	NO	NO
45	Nodo ->Faro	Retransmisión mensaje de Auxilio de otro nodo	NO	SI	SI	SI	NO
80	Faro ->Nodo	Señal Faro, emite su identificación a algún nodo presente	NO	SI	NO	NO	NO
81	Faro ->Nodo	Responde al nodo con la información momentánea	SI	SI	NO	NO	SI
84	Faro ->Nodo	Confirmación de recepción (Señal de ACK)	SI	SI	NO	NO	NO

TABLA III
Códigos de mensaje para funciones de red entre Nodo y Red

largos y mayor cantidad de saltos hasta alcanzar la base. Si hubiera colisiones o se perdieran mensajes por alguna razón, la ausencia del ACK genera un reintento. Si luego de esto no hay un reconocimiento, entonces el faro destina el mensaje al siguiente y marca la falla. El tamaño máximo planteado para un mensaje es de 42 bytes, lo que implica que con una configuración de *Spreading Factor* (SF) 12 y un ancho de banda (BW) de 500KHz, se demore unos 450 ms. Con estos tiempos sin retransmisiones por pérdidas, para una red de 22 faros se requieren aproximadamente 10 segundos.

Los mensajes se priorizan de acuerdo a la distancia a la que se encuentran de la base y a la urgencia. En máxima prioridad están los de emergencia, seguidos de los de reconocimiento de turistas y finalmente los de señalización de faros.

VII. ENSAYOS

Como instancia inicial se evaluó el alcance que se puede obtener entre dos dispositivos. Para esto se dispusieron dos nodos, uno transmisor que se observa en la Figura 14, y otro receptor en la Figura 13, con un distanciamiento de 1 kilómetro sobre una ruta despejada para asegurar la línea de vista, tal como se observa en la Figura 12.



Figura 12: Disposición de los nodos a 1Km

La prueba consistió en enviar un mensaje de prueba a intervalos regulares y analizar el RSSI y el SNR. Se configuraron los LoRa con una potencia de 17dBm, SF=10 y BW=125Khz.

Los resultados se observan en la Figura 15. Las mediciones oscilan en promedio en -115dBm para RSSI, y -12 dB para SNR. Para una distancia de un kilómetro y con la configuración dispuesta, esos valores son los mínimos alcanzables antes de que haya pérdidas.

En una segunda instancia se hicieron pruebas con una red de tres nodos. Para esto se implementó el protocolo propuesto de manera simplificada, y se ejecutó una prueba de testeo del



Figura 13: Receptor



Figura 14: Transmisor

tipo ID 20, donde la base pregunta por el estado de un nodo hoja. Si bien la red en prueba solo consta de tres nodos, es suficiente para hacer los ensayos del protocolo. El mapa de la red implementada se observa en la Figura 16.

Para la prueba se utilizó una potencia de 10dBm, un SF=12 y un BW=125KHz. Como resultó difícil realizar un despliegue en una zona abierta para cubrir grandes distancias, se optó por implementarlo en la ciudad. Por esta razón surgieron algunos inconvenientes no previstos, tanto así que las distancias de alcance se redujeron hasta unos 500 metros aproximadamente, con valores de SNR alrededor de los -20 dB y de RSSI de -94 dBm.

El ensayo consistió en que la base envie un mensaje de testeo para saber si el nodo hoja está activo. El mensaje lo

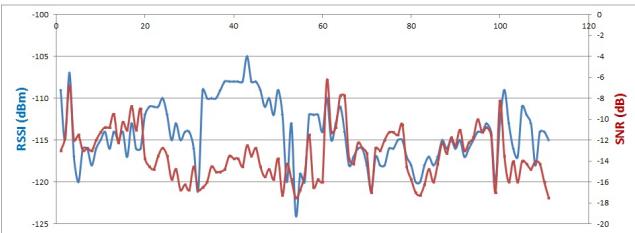


Figura 15: Resultados



Figura 16: Red de tres nodos desplegados en la ciudad

toma el nodo intermedio y lo retransmite hacia el nodo hoja quien, realizando el camino inverso, responde con un “Estoy Vivo”. Todo el recorrido del mensaje, desde que parte de la base hasta que vuelve con la respuesta de la hoja demora unos 5 segundos, estimando un tiempo de trabajo de 1.25 segundos por nodo. Este tiempo es muy superior al calculado anteriormente, de unos 0.5 segundos por faro, y es que en la práctica surgieron cuestiones de solapamiento de transmisiones y recepciones que nos obligaron a relajar los tiempos de retransmisión.

VIII. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el diseño de un sistema colaborativo basado en una red de comunicación que utiliza la tecnología LoRa para transmitir mensajes entre dispositivos. Está orientado a proveer asistencia a los turistas durante la travesía, y a brindar apoyo a las autoridades de los centros turísticos con un servicio de seguimiento de todas las personas que están circulando por el parque. Se garantiza de esta manera la logística necesaria para un eventual operativo de búsqueda y rescate. Se presentó además el modo en que los dispositivos deben ser desplegados sobre el terreno y los diferentes intercambios de mensajes típicos que se pueden generar entre los actores. Finalmente, se verificó por medio de cálculos la respuesta temporal del sistema.

En el futuro, se realizará la presentación del sistema de soporte al turista a las autoridades nacionales de los parques y reservas naturales, para evaluar la posibilidad de realizar una implementación real en el entorno propuesto.

REFERENCIAS

- [1] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley, “A study of lora: Long range & low power networks for the internet of things,” *Sensors*, vol. 16, no. 9, 2016.
- [2] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and F. Meyer, “A comparative study of lpwan technologies for large-scale iot deployment,” *ICT Express*, 2018.
- [3] D. Ismail, M. Rahman, and A. Saifullah, “Low-power wide-area networks: Opportunities, challenges, and directions,” in *Proceedings of the Workshop Program of the 19th International Conference on Distributed Computing and Networking, Workshops ICDCN ’18*, (New York, NY, USA), pp. 8:1–8:6, ACM, 2018.
- [4] G. M. Eggly, J. M. Finochietto, M. Micheletto, R. P. Centelles, R. Santos, S. F. Ochoa, R. Meseguer, and J. Orozco, “Evacuation supporting system based on iot components,” in *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, vol. 31, p. 38, 2019.
- [5] M. Finochietto, G. M. Eggly, R. Santos, J. Orozco, S. F. Ochoa, and R. Meseguer, “A role-based software architecture to support mobile service computing in iot scenarios,” *Sensors*, vol. 19, no. 21, p. 4801, 2019.
- [6] A. E. Ferreira, F. M. Ortiz, T. T. d. Almeida, and L. H. M. K. Costa, “A visitor assistance system based on lora for nature forest parks,” *Electronics*, vol. 9, no. 4, 2020.
- [7] C.-F. Huang and Y.-C. Tseng, “The coverage problem in a wireless sensor network,” *Mob. Netw. Appl.*, vol. 10, pp. 519–528, Aug. 2005.
- [8] V. Herskovic, S. F. Ochoa, and J. A. Pino, “Modeling groupware for mobile collaborative work,” in *2009 13th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*, pp. 384–389, 2009.
- [9] V. Herskovic, S. F. Ochoa, J. A. Pino, and H. A. Neyem, “The iceberg effect: Behind the user interface of mobile collaborative systems.,” 2011.
- [10] Á. Monares, S. F. Ochoa, J. A. Pino, V. Herskovic, J. Rodriguez-Covili, and A. Neyem, “Mobile computing in urban emergency situations: Improving the support to firefighters in the field,” *Expert systems with applications*, vol. 38, no. 2, pp. 1255–1267, 2011.
- [11] R. Santos and S. F. Ochoa, “Disseminating shared information in disaster relief efforts: A communication computable model,” in *Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, pp. 3446–3451, 2011.
- [12] Á. Monares, S. F. Ochoa, R. Santos, J. Orozco, and R. Meseguer, “Modeling iot-based solutions using human-centric wireless sensor networks,” *Sensors*, vol. 14, no. 9, pp. 15687–15713, 2014.
- [13] R. M. Santos, J. Orozco, S. F. Ochoa, R. Meseguer, and D. Mosse, “Providing real-time message delivery on opportunistic networks,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 40696–40712, 2018.
- [14] G. M. Eggly, M. Finochietto, E. Dimogerontakis, R. M. Santos, J. Orozco, and R. Meseguer, “Real-time primitives for coap: Extending the use of iot for time constraint applications for social good,” *Proceedings*, vol. 2, no. 19, 2018.
- [15] R. Santos, G. Lipari, E. Bini, and T. Cucinotta, “On-line schedulability tests for adaptive reservations in fixed priority scheduling,” *Real-Time Systems*, vol. 48, no. 5, pp. 601–634, 2012.
- [16] R. M. Santos, J. Santos, and J. D. Orozco, “A least upper bound on the fault tolerance of real-time systems,” *J. Syst. Softw.*, vol. 78, no. 1, pp. 47–55, 2005.
- [17] R. P. Centelles, F. Freitag, R. Meseguer, L. Navarro, S. F. Ochoa, and R. M. Santos, “A lora-based communication system for coordinated response in an earthquake aftermath,” *Proceedings*, vol. 31, no. 1, 2019.
- [18] G. M. Eggly, J. M. Finochietto, M. Micheletto, R. P. Centelles, R. Santos, S. F. Ochoa, R. Meseguer, and J. Orozco, “Evacuation supporting system based on iot components †,” *Proceedings*, vol. 31, no. 1, 2019.
- [19] J.-H. Huang, S. Amjad, and S. Mishra, “Cewnits: A sensor-based loosely coupled search and rescue system using witnesses,” in *Proceedings of the 3rd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, SenSys ’05*, (New York, NY, USA), p. 180–191, Association for Computing Machinery, 2005.
- [20] B. Carbonés Fargas, *IoT and Tracking Capabilities in LPWANs*. Master dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona,, 2017.
- [21] J. Miranda, N. Mäkitalo, J. Garcia-Alonso, J. Berrocal, T. Mikkonen, C. Canal, and J. M. Murillo, “From the internet of things to the internet of people,” *IEEE Internet Computing*, vol. 19, no. 2, pp. 40–47, 2015.