

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática

Maestría en Sistemas Computacionales



EXPLORACIÓN DE ZONAS DE DESASTRE CON REDES MÓVILES AUTO-ORGANIZADAS USANDO EL SISTEMA MASA- RESORTE

TRABAJO RECEPCIONAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO
EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

Presenta: Abisai Negrete Carrillo

Director: Mtro. Francisco Eduardo Balart
Codirector: Dr. Luis Fernando Gutiérrez Preciado

Tlaquepaque, Jalisco. octubre de 2018.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea dar las gracias a mis padres, mi pareja, mi familia y amigos por el apoyo emocional y paciencia brindada durante mis jornadas de estudio, tareas y proyectos. Se desea agradecer a todos los profesores que compartieron sus conocimientos durante todas las materias cursadas durante la maestría para crecer académicamente y aprender de ellos. Especial agradecimientos a Francisco Balart y Luis Fernando Gutiérrez porque gracias a su ayuda se logró terminar el presente trabajo.

Agradezco al CONACYT por el apoyo recibido número 44206 y al ITESO por la beca otorgada como apoyos para poder concluir y obtener el grado de Maestro en Sistemas computacionales.

RESUMEN

El presente documento proporciona una simulación de una red MANET autoorganizada que se utiliza para explorar lugares afectados por un desastre natural como terremotos, huracanes o tormentas tropicales. MANET está compuesto por drones y utiliza el algoritmo EESOA (“Energy-Efficient Self- Organized Algorithm for wireless ad-hoc networks”) para tener una eficiencia de uso de los drones con una posición inicial establecida al principio y utilizando el algoritmo de masa-resorte al mismo tiempo para mover los drones a una nueva posición para tener una mejor distribución y aumentar la cobertura del área dañada.

Se logro demostrar que al combinar los algoritmos de EESOA y Masa-resorte, se optimizar el uso de drones en la búsqueda de personas para maximizar su eficiencia una vez colocados en una posición inicial y, dado que son algoritmos distribuidos, cada dron, procesa la información de ellos y sus vecinos, eliminan la necesidad de tener un sistema de control central para indicar los movimientos que deben realizarse y cubrir una mayor aérea y aumentar el número de personas encontradas.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. ANTECEDENTES	8
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	8
1.3. PROBLEMA	9
1.4. OBJETIVOS.....	9
1.4.1. Objetivo General:.....	9
1.4.2. Objetivos Específicos:	9
1.5. NOVEDAD CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA O APORTACIÓN	10
1.6. ALCANCE DEL PROYECTO.....	10
2. ESTADO DEL ARTE.....	11
2.1. APLICACIONES ACTUALES PARA LOCALIZAR PERSONAS EN ZONAS DE DESASTRE	12
2.1.1. Comprobación del estado de seguridad de Facebook.....	12
2.1.2. Finding Individuals for Disaster and Emergency Response (FINDER)	13
2.1.3. Flexispy para teléfonos inteligentes	14
2.1.4. Señal de vida.....	15
2.1.5. Google person finder	16
3. MARCO TEÓRICO/CONCEPTUAL	17
3.1. REDES MANETS.....	18
3.1.1. Aplicaciones de las MANET	19
3.1.2. Mejoramiento de eficiencia de la red	20
3.2. <i>ENERGY-EFFICIENT SELF-ORGANIZED ALGORITHM (ESSOA)</i>	20
3.2.1. Comunicación inalámbrica	22
3.2.1.1. CAPA FÍSICA	23
3.2.1.2. CAPA MAC	24
3.3. MASA RESORTE.....	24
3.3.1. DIAGRAMA DE FUERZAS	26
4. SOLUCIÓN PROPUESTA	27
4.1. REUTILIZACIÓN DE EESSOA.....	30
5. IMPLEMENTACION Y RESULTADOS.....	31
5.1. IMPLEMENTACIÓN	32
5.1.1. SIMULACIÓN Y AMBIENTE DE PRUEBAS	32
5.1.2. DIAGRAMA DE CLASES	33
5.1.3. GENERACIÓN DE MODELOS CON NODOS QUE VAN CAMBIANDO SUS CONEXIONES.	36
5.1.4. POSICIONAMIENTO DE DRONES.....	36
5.2. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	37
5.2.1. RESULTADOS DE COBERTURA PARA MASA-RESORTE	37
5.2.2. RESULTADOS DE PERSONAS UBICADAS UTILIZANDO MASA Y RESORTE.....	40
5.2.3. MASA – RESORTE COMPARADO CON DESPLAZAMIENTOS SIN MASA - RESORTE.....	42
6. CONCLUSIONES.....	45
6.1. TRABAJO FUTURO	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Facebook, Comprobador del estado de seguridad cuando ocurrió el tifón Ruby	13
Figura 2 Equipo Finder (imagen tomada de [3]).....	14
Figura 3 Panta de Ubicación en la Aplicación Flexispy (imagen tomada de [4]).....	14
Figura 4 Pantallas de la aplicación para móviles de Señal de vida (imagen tomada de [5]).....	15
Figura 5 Logo de Google person finder	16
Figura 6 Reds MANET con equipos personales y celulares.....	18
Figura 7 Dispositivos dentro del Internet de las cosas	19
Figura 8 MANET para operaciones de rescate	19
Figura 9 Ejemplo de MANET en entornos militares	20
Figura 10 Elementos del Backbone de una red utilizando EESOA, , imagen tomada de [8]	21
Figura 11 Definición de roles con EESOA, imagen tomada de [8]	22
Figura 12 Red WLAN con distintos dispositivos	23
Figura 13 Bandas 2.4GHz y 5GHz	23
Figura 14 Sistema masa-resorte (imagen tomada de [11]).....	24
Figura 15 Sistema masa resorte en sus diferentes estados (imagen tomada de [11]).....	25
Figura 16 Sistema de masa resorte con varios resortes conectados a un solo punto.....	26
Figura 17 Red de drones corriendo EESOA para mantener la comunicación eficiente entre toda la red .	28
Figura 18 Entradas y salidas del algoritmo EEOSA	28
Figura 19 Ubicación de personas en la zona a analizar.....	28
Figura 20 Entradas y salidas del algoritmo de masa-resorte.....	29
Figura 21 Los drones nunca se muevan sin perder comunicación.....	29
Figura 22 EESOA y masa resorte trabajando en conjunto.....	29
Figura 23 Área de la simulación donde se colocan los drones y personas.....	32
Figura 24 Diagrama de clases nodos.....	34
Figura 25 Clases para la información compartida por cada nodo	35
Figura 26 Clase de vecinos de la red Manet	35
Figura 27 Estado inicial y final de dos redes en donde se ejecuta el EESOA.....	36
Figura 28 Nodos posicionados utilizando el API setAttribute("xyz",x,y,z) de graph stream	36
Figura 29 Cambio en la posición de algunos de los nodos con respecto a la posición inicial	37
Figura 30 Estado inicial y final de una MANET, corriendo masa-resorte.....	37
Figura 31 Comparaciones del estado inicial y final de un caso de prueba.....	38
Figura 32 Simulación con 15 drones, antes y después de masa-resorte.....	39
Figura 33 Simulación con 25 drones, antes y después de ejecutar masa-resorte	40
Figura 34 Personas encontradas al inicio de la simulación y después de ejecutar masa-resorte.....	41
Figura 35 Personas localizadas antes y después de ejecutar ESSOA y masa-resorte	41
Figura 36 Personas localizadas antes y después de ejecutar ESSOA y masa-resorte	42
Figura 37 Comparación de dos simulaciones con movimiento libre y movimiento con masa-resorte	43
Figura 38 Personas detectadas al inicio de la simulación	43
Figura 39 Personas detectadas con movimiento con y sin masa-resorte.....	44

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

TOG		Trabajo de Obtención de Grado
EESOA		Energy-Efficient Self-Organized Algorithm
MANET		Mobile Ad hoc Network
WSN		Wireless Sensor Network
WLAN		Wireless Local Area Network
Wi-Fi		Wireless Fidelity
RF		Radio Frecuencia
MAC		Medium Access Control
CSMA/CA		Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
FINDER		Finding Individuals for Disaster and Emergency Response

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En la actualidad se cuenta con sistemas compuestos por una red de dispositivos autónomos con los que se obtienen mediciones (temperatura, luminosidad, pH, movimiento, fuerza, etc.). Todos los dispositivos están distribuidos físicamente en un área de interés, pueden tener una posición fija o ser móviles; tener una red física establecida o cambiar su topología dinámicamente.

Estos sistemas se utilizan en diferentes ámbitos, por ejemplo: análisis del medio ambiente, sistemas inteligentes para monitoreo de la salud, seguridad y sistemas de vigilancia. En estos sistemas, los datos obtenidos son analizados y se realiza una acción de acuerdo con lo obtenido. La finalidad del sistema pudiera ser encender o apagar algo, realizar una notificación o guardar un historial, entre otras.

Dependiendo de la naturaleza de los dispositivos que forman dichas redes se pueden dividir en WSN (Wireless Sensor Network) o MANET (Mobile Ad-hoc Network).

En una red WSN, los dispositivos no llevan a cabo una interacción directa con los humanos, solo lo hacen con el ambiente en el que se desempeñan. Por otro lado, una red MANET está integrada por dispositivos de uso común para las personas como computadoras, teléfonos inteligentes y tecnología vestible. En ambos casos, los dispositivos son utilizados para la obtención de datos y el envío de información hasta/desde un módulo central que realiza el análisis y toma de decisiones.

En las WSN y MANET los nodos pudieran estar conectados a una fuente de energía permanente o a una batería con un tiempo de vida limitado. Los dispositivos de la red tienen un consumo de energía proporcional a la cantidad de información transmitida por cada dispositivo.

Para mejorar el uso de energía en estas redes, se han diseñado algoritmos en los que se eliminan las transmisiones de datos innecesarias, manteniendo activos sólo los dispositivos indispensables para el funcionamiento adecuado del sistema y el resto cuando se requieran.

Entre los algoritmos desarrollados se encuentra el de “Energy-Efficient Self- Organized Algorithm for wireless ad-hoc networks” (EESOA) propuesto por J. Guadalupe Olascuaga-Cabrera, Andres Mendez-Vazquez y Ernesto López-Mellado en el 2012. EESOA es aplicable a todas las redes sin importar su infraestructura inalámbrica o alámbrica con topología establecida o dinámica. El algoritmo permite mantener la red activa; comunicar cualquier nodo de la red utilizando el mínimo número de transmisiones y dispositivos y por consiguiente un menor consumo de energía y mayor tiempo de vida para los nodos que hacen uso de baterías. Además, si algún elemento llegara a quedarse sin batería, fallar o desconectarse de la red se cuenta con la lógica necesaria para reconfigurar la red y no perder la comunicación de manera eficiente.

1.2. Justificación

Cuando un desastre afecta a una población, la búsqueda de personas que requieren apoyo puede llegar a tomar un tiempo considerable debido a que no siempre es fácil ingresar y recorrer los lugares afectados de la manera más eficiente. Se espera que el algoritmo y simulaciones que se desarrollen durante este proyecto ayuden a reducir el tiempo de búsqueda y brindar los servicios necesarios a la población afectada en menor tiempo. Actualmente existen algunas soluciones para localizar a las personas utilizando la tecnología y teléfonos inteligentes con acceso a Internet como Comprobación del estado de Facebook,

Finder y Señal de vida, pero todos ellos dependen de un centro principal de control y no son autosuficientes.

1.3. Problema

El desarrollo de este proyecto busca proponer una solución para localizar el mayor número de personas en una zona de desastre utilizando drones. Se realizará la programación de un algoritmo capaz de cubrir la mayor parte de un área afectada de acuerdo con la concentración de las personas en la misma utilizando el principio de masa resorte entre a distancia entre cada dron.

El algoritmo partirá de tener una posición inicial para cada dron con la habilidad de detectar el número de persona que se encuentran dentro de su rango de cobertura. Cada uno deberá ser capaz de tomar la decisión de hacia que dirección se debe desplazar, de acuerdo con donde detecte la mayor concentración de personas y desplazar a los demás dispositivos lo máximo posible para no perder la comunicación entre todos los drones de la red. Los dispositivos ofrecerán la infraestructura de comunicación que utilizarán las personas extraviadas con los encargados de seguridad, es decir, las personas afectadas en la zona de peligro serán detectadas mediante sus celulares utilizando los drones y los drones propagan esta información a un punto central donde se informa a los encargados para su localización.

Se pretende así tener una manera más rápida de localizar a las personas utilizando la tecnología para hacer búsquedas más eficientes y aminorar los problemas encontrados cuando los terrenos a explorar son de difícil acceso y en los que realizar una búsqueda pudiera tomar más tiempo si se realiza sin apoyo alguno.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

Diseñar un caso de estudio en que se reutilice la implementación y simulaciones del algoritmo EESOA y complementarlo con uno de masa-resorte en una red MANET, considerando que: (A) Dentro de la red, cada nodo puede desplazarse una determinada posición si se considera necesario y mover a los demás lo máximo posible para evitar deshacer la red y perder comunicación entre todos los dispositivos. (B) Si dos o más drones cercanos se mueven en direcciones contrarias llega un punto en que ninguno se puede seguir desplazando o de lo contrario se perderá el alcance de comunicación y alguno se quedaría fuera de la red.

1.4.2. Objetivos Específicos:

1. Tomar la implementación actual de EESOA en Java y complementarla con lógica de un sistema de masa (dispositivo) -resorte (separación entre los nodos)
2. Analizar el resultado de las simulaciones para definir si es viable una implementación física con drones
3. Mantener las ventajas observadas con la implementación del EESOA (mejor forma de mantener la comunicación y capacidad de reconfigurar la red en caso de la pérdida de algún dispositivo)
4. Diseñar lógica para decidir hacia qué lugar se debería mover los drones de acuerdo con la información obtenida por los nodos vecinos (mayor número de personas detectadas)

1.5. Novedad científica, tecnológica o aportación

Complementar el algoritmo EESOA con una funcionalidad que simula el comportamiento de un sistema de masa-resorte. Este proyecto busca obtener un mejor resultado en la localización de objetivos con dispositivos en movimiento comparado con tener los dispositivos estáticos en lugares previamente definidos.

Se implementará un caso de estudio de MANETs en que las que se considera la comunicación entre nodos en diferentes niveles:

- Creación de backbone (usando EESOA)
- Amplificar el área de búsqueda (implementación masa-resorte)

Se ofrece un apoyo para localizar personas en una zona de desastre.

Se definirán métricas para validar el beneficio que se puede traer en la búsqueda de personas utilizando este algoritmo comparado con el tiempo y eficiencia de las búsquedas manuales.

1.6. Alcance del Proyecto

Aplicar los algoritmos de EESOA y masa-resorte en conjunto, para buscar una solución óptima en tiempo y energía, con el objetivo de localizar personas en una zona de desastre. En dicho caso de estudio, se utilizarán drones con una posición inicial, los cuales estarán comunicados entre sí, conociendo la cantidad de personas en el rango de cada uno. La posición de los drones cambiará de acuerdo con las secciones en donde exista una mayor concentración de personas hasta llegar a la posición en donde se tenga una mayor cobertura de las personas, para posteriormente, reportar las cifras obtenidas a una unidad central.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Aplicaciones actuales para localizar personas en zonas de desastre

A continuación, se exponen algunas de las soluciones ya existentes para localizar personas después de una zona de desastre utilizando la tecnología en Internet y en los teléfonos inteligentes.

2.1.1. *Comprobación del estado de seguridad de Facebook*

Facebook ha añadido la funcionalidad de “comprobación del estado de seguridad” que permite a las personas confirmar que se encuentran bien y una vez compartida esta información se puede comprobar el estado de los “amigos”. Esta información permite compartir lo que se conoce sobre el estado de un amigo o familiar y si el usuario o algún conocido enfrentan algún tipo de peligro se puede contactar al equipo local de respuesta ante emergencias para solicitar ayuda. En Figura 1 Facebook, Comprobador del estado de seguridad Figura se puede apreciar la interfaz de la comprobación del estado de seguridad en la página de Facebook.

Facebook determina qué usuarios se encuentran en la zona afectada analizando algunos factores como, por ejemplo:

- La ciudad registrada en cada perfil
- La ubicación actual de las personas, si Facebook tiene acceso a la ubicación de los teléfonos o tabletas
- Otros indicios que hagan referencia a la ubicación actual de cada usuario (por ejemplo, la ciudad donde se realiza la conexión a Internet)

Una vez determinado que usuarios se encuentran en la zona afectada, se les envía una notificación en la que se pregunta si se encuentran bien. Además, pudiera solicitar que se indique que se está bien si se realiza una actualización de estado sobre la catástrofe. Si no se desea compartir con los amigos que se localiza en la zona afectada, se le puede hacer clic en “No estoy en la zona” [2]. Un ejemplo de cómo luce esta aplicación para el caso del tifón Ruby se aprecia en Figura 1

Para el funcionamiento de esta aplicación se requiere que las personas cuenten con acceso a su cuenta de Facebook y conexión a Internet como mínimo y el servicio de localización para mejorar la información sobre posición del perfil, en caso de que no se cuente con servicio de Internet no se puede hacer uso de esta funcionalidad.

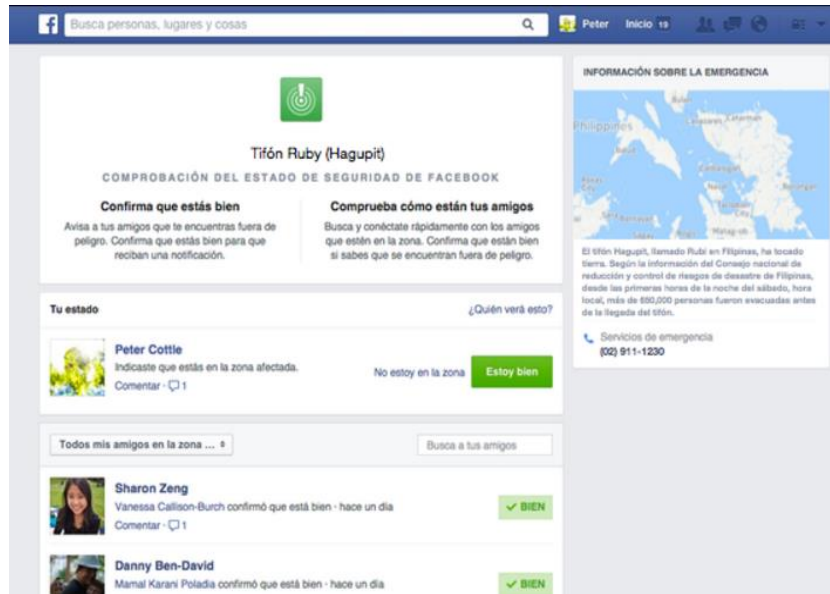


Figura 1 Facebook, Comprobador del estado de seguridad cuando ocurrió el tifón Ruby

2.1.2. Finding Individuals for Disaster and Emergency Response (FINDER)

El Laboratorio de Propulsión Jet (JPL) de la NASA desarrollo una herramienta llamada FINDER (Finding Individuals for Disaster and Emergency Response) que detecta las vibraciones que produce el latido del corazón en un radio de 100 pies. El sistema cabe en una maleta, como para llevarse en avión. Además, su software tiene la capacidad de discernir las señales que no pertenecen a los corazones humanos, filtrando los movimientos más lentos (movimiento de árboles por el viento) y los más rápidos, como el latido del corazón de un animal [3].

El usuario debe pulsar el botón “Buscar” en la página web del sistema y posteriormente se muestra en una página web de la computadora portátil FINDER un radar con la información de latidos del corazón recabada.

FINDER está diseñado para implementarse después de desastres provocados por terremotos, huracanes y avalanchas ya que puede detectar los movimientos a través de hasta 40 pies de escombros.

Debido a que existen muy pocos prototipos disponibles y que los desastres naturales son poco predecibles, FINDER no se ha utilizado en una emergencia en tiempo real. Solo ha sido probado por los grupos de trabajo de FEMA y en Virginia se adaptó un lugar para simular un lugar de desastre natural. En la Figura 2 se muestra este equipo siendo transportado por una persona.

Esta solución es muy costosa y no es accesible para la mayoría de las poblaciones.



Figura 2 Equipo Finder (imagen tomada de [3])

2.1.3. Flexispy para teléfonos inteligentes

Flexispy es una aplicación de paga especializada en obtener información y datos de los teléfonos inteligentes donde se instaló (funciona con sistemas operativos Android y iOS). Se puede acceder entre otras cosas a datos de llamadas, mensajes, chats, datos multimedia, aplicaciones, uso de Internet, ubicación GPS y recibir notificaciones.

Flexispy permite tener un seguimiento y ubicación de un dispositivo en línea, acceder al historial de ubicaciones para conocer la trayectoria de todos los lugares conocidos donde el dispositivo ha estado. Esta información permite ver la ubicación en un período específico de tiempo o al instante [4].

Esta aplicación tiene un costo mensual para hacer uso de la misma y asegura que toda la información estará encriptada para evitar que se haga mal uso de la información personal recabada de las aplicaciones en el dispositivo. En Figura 3 se aprecia la pantalla de localización de la aplicación Flexispy.

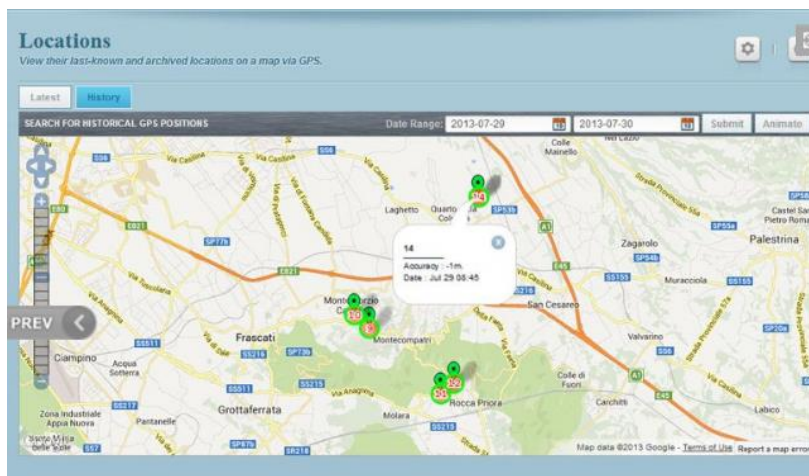


Figura 3 Panta de Ubicación en la Aplicación Flexispy (imagen tomada de [4])

2.1.4. Señal de vida

Unión Andina de Cementos (UNACEM), una empresa en Perú, desarrollo la aplicación móvil “Señal de vida” en la cual se puede crear un grupo de 10 contactos cercanos y obtener su ubicación exacta, a través de GPS y conexión a Internet, de hasta seis minutos previos a un movimiento sísmico. La ventaja ofrecida es que proporciona la información, aunque el GPS y el Internet hayan dejado de funcionar.

La aplicación está conectada a USGS (United States Geological Survey) y tras la detección de un sismo a partir de los 4.5 grados de magnitud se activa automáticamente y todos los integrantes de un grupo recibirán la última localización de sus integrantes. Y el reporte de ubicación estará vigente sólo por 24 horas después del sismo. Toda la información que se recopila se encuentra encriptada considerando las políticas de privacidad e intimidad de los usuarios [5].

Esta aplicación se encuentra disponible de forma gratuita para Android y iOS. En Figura 4 se muestra el inicio de la aplicación y la pantalla que muestra la ubicación dentro de la aplicación.

Desafortunadamente, los usuarios han reportado muchas fallas y pobre funcionamiento. Las personas pertenecientes al grupo conocerán la última posición reportada para cada usuario mientras que el servicio de Internet esté funcionando, una vez que este servicio deje de funcionar la posición solo será válida si la persona no se movió de ese lugar.



Figura 4 Pantallas de la aplicación para móviles de Señal de vida (imagen tomada de [5])

2.1.5. *Google person finder*

Google Person Finder es una aplicación web que permite a los usuarios publicar o buscar el estado de amigos y parientes afectados por algún desastre. Esta aplicación también permite que las agencias de prensa, gubernamentales y cualquier persona contribuyan a la base de datos y reciban las notificaciones utilizando el API Person Finder basado en el estándar abierto PFIF, se ejecuta en la plataforma Google App Engine y está disponible en más de 40 idiomas [6].

La base de datos es accesible para todo el público y es actualizada por los usuarios con una fecha de vigencia establecida y ellos mismos pueden reportar spam, contenido ofensivo o información incorrecta. Así mismo, se puede reportar cualquier problema técnico y retroalimentación. Google no es responsable de mantener actualizados los datos y no ofrece garantía acerca de la exactitud.

Se crea un repositorio por cada desastre suscitado y una vez que la crisis inmediata ha pasado y las formas habituales de comunicación son capaces de satisfacer las necesidades, el repositorio se elimina con todos los datos.

Al ser “Google Person Finder” un proyecto de código libre, permite que todos los desarrolladores puedan contribuir y mejorar las funcionalidades de esta herramienta para futuros eventos de crisis. En Figura 5 se muestra el logo del proyecto.

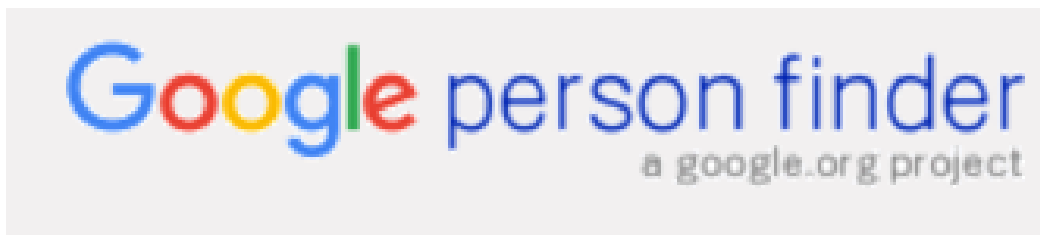


Figura 5 Logo de Google person finder

3. MARCO TEÓRICO/CONCEPTUAL

3.1. Redes MANETs

Las redes MANETs (Mobile Ad Hoc Networks) están formados por un conjunto de dispositivos móviles que se comunican de manera inalámbrica sin necesidad de ninguna infraestructura, están formadas por una topología dinámica con propiedades de autoconfiguración, en donde las rutas entre nodos pueden contener múltiples saltos y se tiene un área de cobertura limitada. Los dispositivos dentro de una red MANET tienen la libertad de moverse independientemente en cualquier dirección por lo que se puede generar variaciones en las condiciones de enlace entre los nodos. Cada elemento tiene la funcionalidad de enrutador y por lo tanto debe mantener actualizada la información necesaria para enrutar y enviar los mensajes al destino correcto. En la Figura 6 se muestran ejemplos de redes MANET formado por teléfonos inteligentes y computadoras personales.

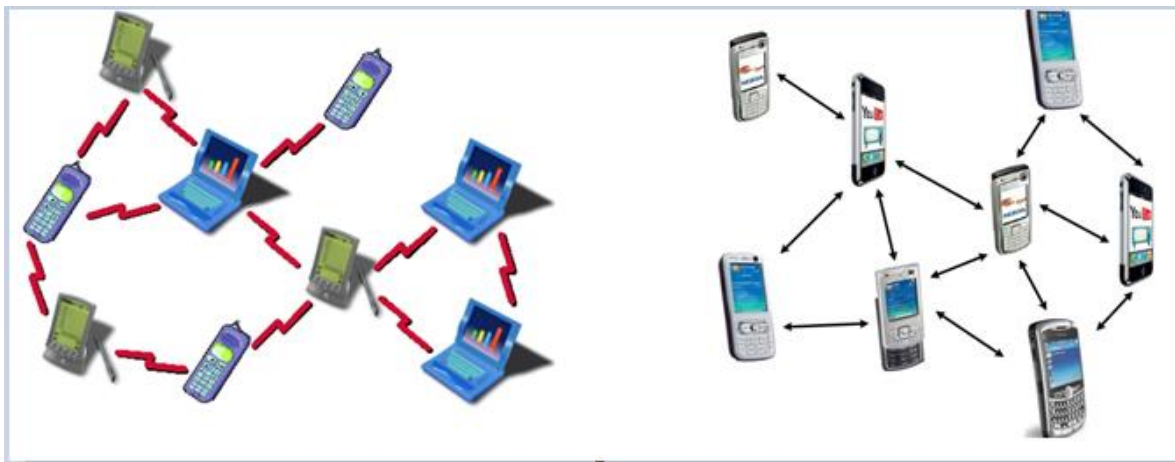


Figura 6 Reds MANET con equipos personales y celulares

3.1.1. Aplicaciones de las MANET

Las MANETs se aplican en casos en los que sea muy elevado el costo de instalar una infraestructura fija, cuándo las características físicas del entorno no lo permitan o en cuándo es necesario un despliegue de los nodos.

- Internet de las cosas (IoT):
 - Mantener comunicados distintos dispositivos móviles y poder controlar diversas funciones desde una red central o de acuerdo a eventos detectados. Como se muestra en Figura 7

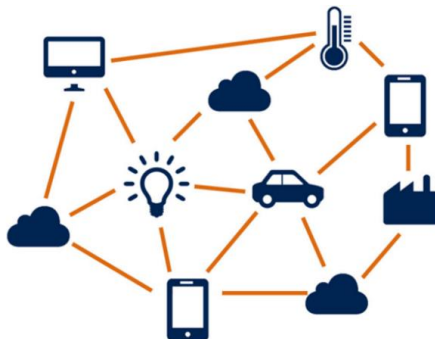


Figura 7 Dispositivos dentro del Internet de las cosas

- Operaciones de rescate
 - Apoyo para los equipos de rescate para mantener la comunicación entre el equipo mientras o acceder a áreas de difícil acceso para explorar. Un ejemplo se aprecia en Figura 8

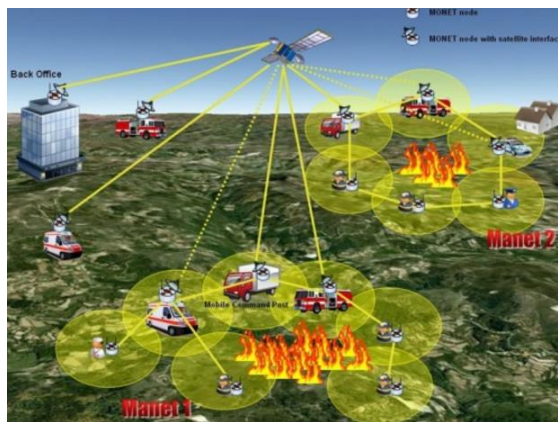


Figura 8 MANET para operaciones de rescate

- Entornos militares
 - Mantener la comunicación entre distintos puntos estratégicos y elementos en constante movimiento dentro de un área específica. La Figura 9 muestra un ejemplo para estas aplicaciones

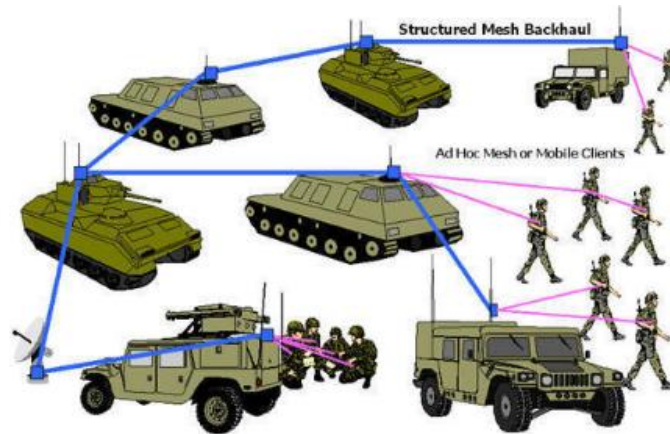


Figura 9 Ejemplo de MANET en entornos militares

- Ofrecer conectividad temporal
 - Se cuentan con dispositivos que funcionan como punto de acceso a Internet en alguna zona donde no se cuenta con la suficiente infraestructura.

3.1.2. Mejoramiento de eficiencia de la red

Se ha buscado algoritmos que ayuden a mejorar la eficiencia en la comunicación dentro de una red MANET debido a que muchos de los dispositivos que la conforman utilizan una batería que limita el tiempo de vida de cada dispositivo y entre mayor sea el número de mensajes transmitidos por cada nodo menor es el tiempo de vida.

Entre los algoritmos desarrollados se encuentra el Energy-Efficient Self-Organized Algorithm (EESOA) que disminuye considerablemente las retransmisiones innecesarias formando un backbone para prolongar el tiempo de vida de algunos nodos

3.2. Energy-Efficient Self-Organized Algorithm (ESSOA)

El modelado de la red se realiza mediante un grafo $G(V, E)$ donde V es el dispositivo conectado en la red y las aristas E representa los canales de comunicación bidireccional entre los nodos vecinos. Entre dos nodos u y v existe una arista (u,v) si la fuerza de la señal recibida es mayor a un nivel preestablecido de potencia. Para este modelo se asume que:

- Cada nodo tiene un ID único, por ejemplo, su dirección IP
- Cada nodo conoce solo la información de sus vecinos de un brinco
- Los nodos pueden añadirse, moverse o dejar la red
- Cada nodo puede ajustar la potencia de transmisión y su alcance de comunicación

Este algoritmo toma en cuenta las capacidades de los nodos para formar el mínimo conjunto de nodos principales y los términos de inhibición y roles de cada nodo. El algoritmo implementa los siguientes roles basándose solo en la información que cada nodo tiene de sus vecinos sin conocer toda la red.

- Líder: Solo existe uno por grupo, este es el encargado de toda la comunicación dentro del grupo al que pertenece. Envía un mensaje de hola para inhibir a los nodos con los que se comunica. Pertenecen al backbone
- Enlace: Realiza la comunicación entre dos o más líderes de grupo, forma parte del backbone.
- Miembro: Solo se encargan de sí mismos. Cero o más miembros están conectados con un líder, todos los miembros toman el id del líder para tener su ID de grupo. No pertenece al backbone.
- Puente: Redes segmentadas son conectadas

En la Figura 10 y Figura 11 se muestran ejemplos de redes y los respectivos roles que puede tomar cada nodo.

Cada que un nuevo nodo es conectado a la red, si recibe un mensaje de hola de un nodo el nuevo elemento se convierte en miembro y es inhibido. Si no se recibe este mensaje, el nodo empieza a descubrir y analizar a sus vecinos y continúa con el algoritmo. Un nodo que no es inhibido por un vecino se convierte en líder mientras tenga el mayor peso en el grupo y manda un mensaje a todo el grupo para inhibir al resto del grupo. Un nodo se convierte en enlace si es inhibido por más de un líder, pero si solo es inhibido por uno se convierte en miembro.

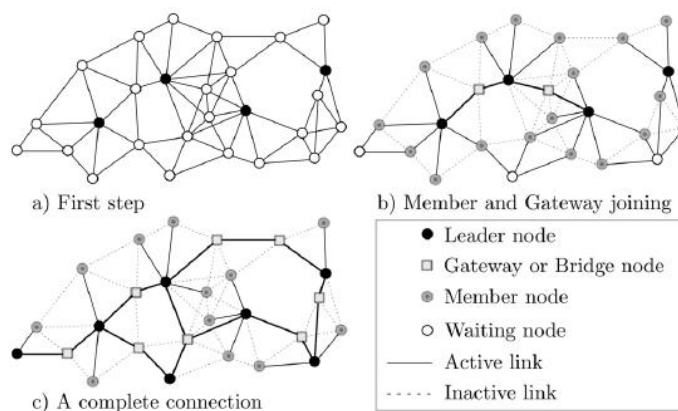


Figura 10 Elementos del Backbone de una red utilizando EESOA, , imagen tomada de [8]

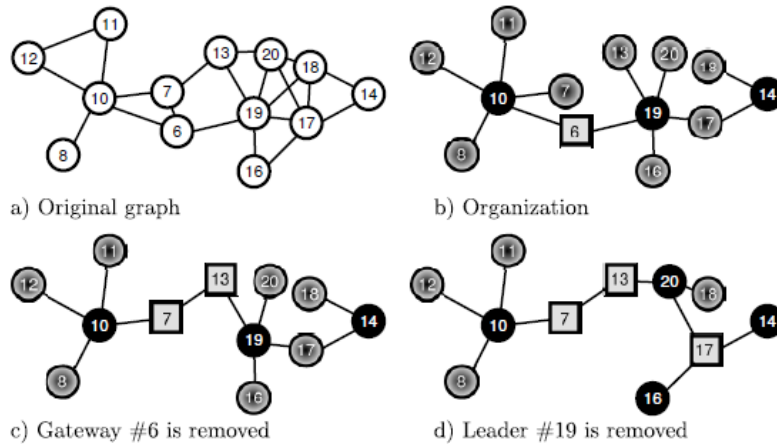


Figura 11 Definición de roles con EESOA, imagen tomada de [8]

Un nodo se convertirá en puente en una red segmentada si cumple con las siguientes características:

- Tiene un vecino con rol miembro o puente con un id de grupo diferente al de su id de grupo.
- No existe un vecino con el rol de puente
- No existe un vecino con rol de enlace conectando un líder con el id igual al de su id de grupo.

Con la definición de roles para cada dispositivo se permite mantener en todo momento la red comunicada y eliminando la transmisión/recepción de mensajes no necesarios por todos los elementos y solo usar una parte para hacer llegar la información al nodo correspondiente; poner los nodos que no forman parte del backbone en bajo consumo mientras no se requieran y así aumentar el tiempo de vida de la batería de algunos nodos. Entre menor sea el número de nodos necesarios para formar el backbone menos son los nodos que se utilizan constantemente para retransmitir los paquetes de datos y por lo tanto sufren de un mayor uso de batería.

3.2.1. Comunicación inalámbrica

La comunicación inalámbrica se realiza mediante ondas de radiofrecuencia y el protocolo IEEE 802.11 define la capa física y capa de enlace de datos especificando el funcionamiento en una WLAN. En Figura 12 se aprecia una red WLAN formada con varios tipos de dispositivos.



Figura 12 Red WLAN con distintos dispositivos

3.2.1.1. Capa física

Se pueden utilizar las bandas de 2.4GHz y 5GHz para realizar la transmisión de información en las redes inalámbricas. La banda de 2.4GHz se encuentra más saturada y con interferencias debido a que también se utiliza para Bluetooth. Hornos de microondas y juguetes de radio control, pero ofrece la ventaja de que las señales sufren menos pérdidas de transmisión en el espacio libre. Por otro lado, la de 5GHz tiene menos interferencia y es menos utilizada pero las señales sufren de pérdidas de transmisión. En ambos casos el canal de transmisión no es completamente fiable y puede comportarse dinámicamente [9]. En Figura 13 se ilustran las bandas y los protocolos utilizados por las redes inalámbricas.

Los dispositivos que utilizan estos canales cuentan con antenas omnidireccionales que permiten la comunicación entre dos nodos que se encuentren lo suficientemente cerca en cualquier dirección, pero esta ventaja provoca que dos nodos distintos pudieran transmitir al mismo tiempo por el mismo canal de RF y es necesario que el protocolo MAC se encargue de evitar este problema.

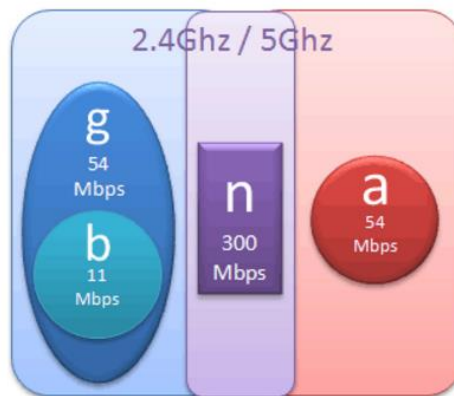


Figura 13 Bandas 2.4GHz y 5GHz

3.2.1.2. Capa MAC

Esta capa se encarga de controlar el acceso a los canales de RF compartidos y hacer más eficiente su utilización, evitando colisiones, impiden que se logren utilizar completamente los recursos de la red.

En esta capa se encuentran los siguientes protocolos:

- **Protocolo de acceso controlado:** Cuenta con un nodo maestro que decide cuál de los nodos puede acceder al medio en cada momento. Los protocolos que destacan son: FDMA (Frequency Division Multiple Access), TDMA (Time Division Multiple Access) y CDMA (Code Division Multiple Access).

Las redes MANET no pueden utilizar este debido a que no se cuentan con una estructura fija y todos los nodos son iguales.

- **Protocolo de acceso aleatorio:** En este los nodos compiten entre ellos para conseguir el canal de transmisión y no requieren de una estructura fija y se puede aplicar donde todos los nodos son iguales, como lo son las MANETs.

El protocolo estandarizado por IEEE 802.11 fue CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) debido a la flexibilidad y resolución del problema de nodos ocultos al utilizar paquetes de control RTS/CTS/DATA/ACK.

3.3. Masa Resorte

El sistema masa resorte está conformado por una masa, un resorte y un punto donde se mantiene sujeto el resorte.

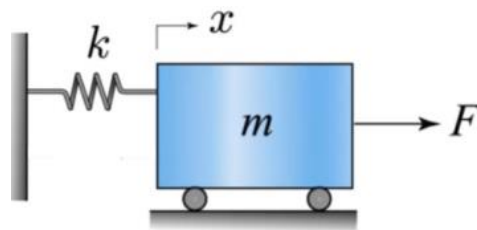


Figura 14 Sistema masa-resorte (imagen tomada de [11])

En la Figura 14 se puede apreciar los elementos de este sistema: objeto (m), Fuerza de movimiento (F), constante de resorte (k) y desplazamiento (x). El resorte tiene una longitud normal, en ausencia de fuerzas externas. Si se le aplican fuerzas se deforma alargándose o acortándose “ x ” llamada “deformación”. Cada resorte se caracteriza con una constante “ k ” que es igual a la fuerza por unidad de deformación que debe aplicar. La fuerza que ejerce el resorte es igual y opuesta a la fuerza externa que se aplica (resorte en reposo) y se llama fuerza recuperadora elástica. La Ecuación 1 muestra que la La fuerza recuperadora elástica está directamente relacionada con la deformación del resorte y su fuerza por unidad de deformación

$$F = -k * x \quad (1)$$

En la Figura 15 (b) y (d) se observa el cuerpo “m” en la posición de equilibrio, esto es con el resorte en su longitud normal sin aplicar fuerza alguna. La Figura 15 (a) muestra el sistema con el cuerpo alejado y estirando el resorte y esto resulta en una fuerza negativa (movimiento hacia el punto de referencia). Finalmente, la Figura 15 (c) muestra un resorte comprimido que resulta en una fuerza positiva (movimiento en dirección opuesta a la referencia)

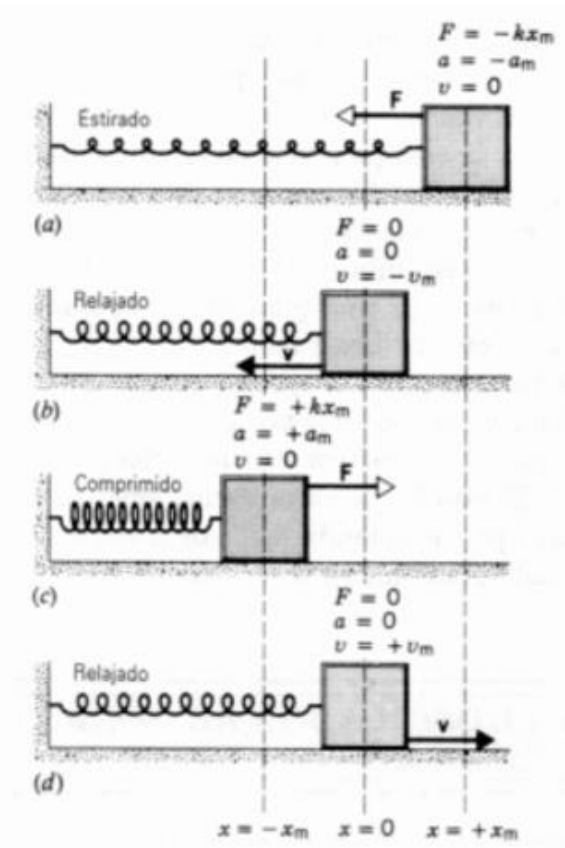


Figura 15 Sistema masa resorte en sus diferentes estados (imagen tomada de [11])

En la Ecuación 5 se describe de acuerdo a la Segunda Ley de Newton, la relación de la fuerza, aceleración y dirección del sistema

$$F = -K * x(t) \quad (2)$$

$$F = m * a(t) \quad (3)$$

$$-k * x(t) = m * a(t) \quad (4)$$

$$a(t) = -\frac{k}{m} x(t) = w^2 * x(t) \quad (5)$$

La oscilación resultante una vez que se suelta el resorte depende de la masa del cuerpo y de la constante del resorte como se aprecia en las Ecuaciones 5 el período de oscilación y en la Ecuación 7 Frecuencia de oscilación

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (6)$$

$$F = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (7)$$

3.3.1. Diagrama de fuerzas

Para suma fuerzas en un sistema de interés, se debe hacer un diagrama de fuerzas ó una representación de las fuerzas que actúan sobre el mismo.

Los pasos para construir el diagrama de fuerzas son:

1. Identificar y representar todas las fuerzas que actúan sobre algún punto de interés, del sistema
2. En cada grupo de fuerzas, definir una dirección positiva y otra negativa para asignar signo a las fuerzas
3. Centrarse en el objetivo y sumar todas las fuerzas que actúan sobre él.

En el caso de los sistemas de masa y resorte se desea llegar lo más próximo posible al punto de equilibrio en cada cuerpo. Y obtener la sumatoria de fuerzas por nodo como se muestra a continuación.

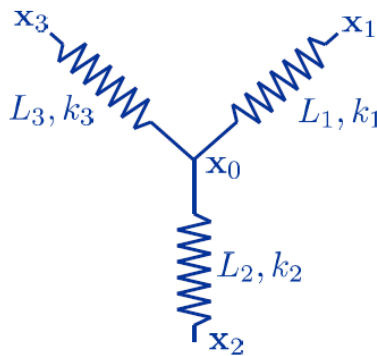


Figura 16 Sistema de masa resorte con varios resortes conectados a un solo punto

$$F_o = \sum_0^i \left[k_i (|x_i - x_0| - L_i) * \frac{x_i - x_0}{|x_i - x_0|} \right] \quad (7)$$

Por ejemplo, la ecuación 7 se muestra el cálculo resultante de la fuerza que se aplica sobre le punto X0 por los tres resortes y la posible deformación de cada uno de ellos

4. SOLUCIÓN PROPUESTA

Cómo se ha visto en los capítulos anteriores se busca unir las funcionalidades del EESOA y masa resorte para lograr encontrar a la mayor cantidad de personas posibles en una zona de desastre mediante una red MANET formada por drones. Para lograr esto es necesario que en todo momento se esté ejecutando la funcionalidad de EESOA para mantener la red siempre comunicada y con el mejor backbone posible. Los drones trataran de moverse hacia donde se detecte la mayor concentración de personas en el área analizada y modificando la estructura de la red al mover a los drones hacia donde se detecta como mejor opción y al mismo tiempo entre la conexión de cada dron se debe respetar el sistema masa y resorte para evitar que se pierda la comunicación entre algunos drones, mover los demás drones hasta donde se es posible o no permitir el movimiento si esto causaría que el nodo se desconectara del resto de la red.



Figura 17 Red de drones corriendo EESOA para mantener la comunicación eficiente entre toda la red

La Figura 18, muestra las entradas que toma en cuenta el algoritmo y el nuevo rol y back bone principal que se obtienen una vez que son procesadas para todos los nodos.

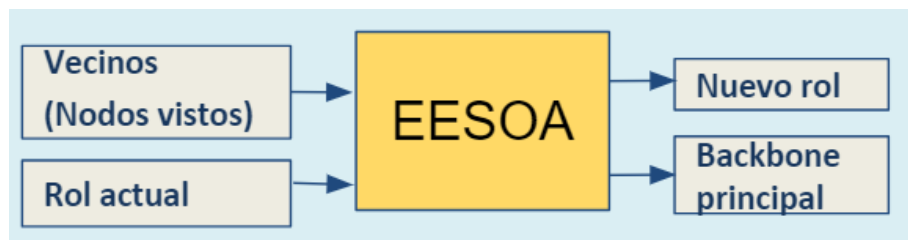


Figura 18 Entradas y salidas del algoritmo EESOA



Figura 19 Ubicación de personas en la zona a analizar

Al mismo tiempo el algoritmo de masa-resorte se estará ejecutando en cada nodo para buscar mantener la distancia entre los componentes del sistema lo más cercano al punto de equilibrio en el que la sumatoria de las fuerzas sean 0, de lo contrario mover los elementos de posición, con esto se busca una mayor

cobertura y mantener los objetos separados en una distancia deseada. La Figura 20 muestra las entradas de cada nodo que se consideran en el algoritmo y que son procesadas y analizadas para obtener el nuevo desplazamiento del nodo.

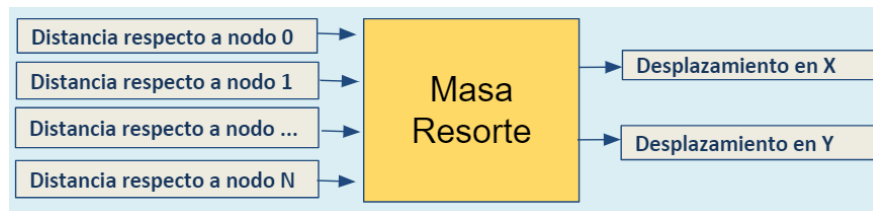


Figura 20 Entradas y salidas del algoritmo de masa-resorte

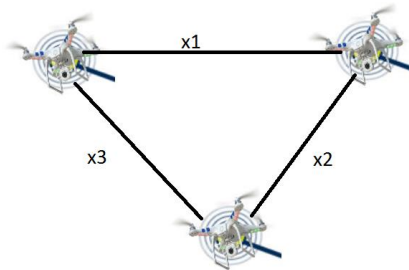


Figura 21 Los drones nunca se muevan sin perder comunicación

En Figura 17 se simboliza la red de drones que estará siempre ejecutando ESSOA para generar los respectivos drones y eficientizar la comunicación entre la red y al mismo tiempo las conexiones entre estos nodos se ven como sistemas de masa resorte como se muestra en Figura 21 para garantizar siempre que los nodos solo se moverán mientras no se pierda la comunicación con sus demás conexiones. Los movimientos de los drones se realizarán hacia las zonas donde se detecte que hay mayor concentración de personas como se muestra en Figura 19.

Los algoritmos de ESSOA y masa resorte no son excluyentes y puede trabajar en conjunto en cada nodo de la red, al combinarlos se hace un uso eficiente de la energía y con la información de los nodos vecinos como se muestra en la Figura 22 se puede obtener el nuevo rol del nodo, el backbone principal de la MANET y el desplazamiento que se debe realizar en el eje x y el eje y.

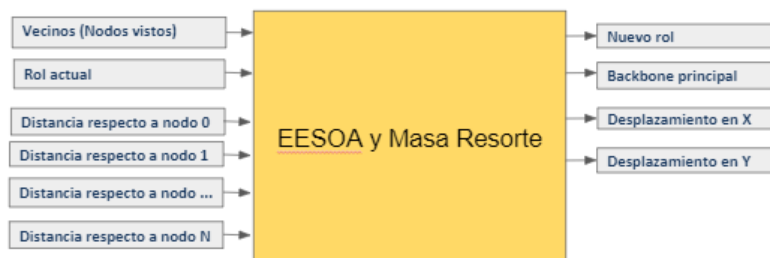


Figura 22 EESOA y masa resorte trabajando en conjunto

4.1. Reutilización de EESOA

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó como base lo realizado para demostrar y comprobar el algoritmo de EESOA en Java. En este código existente la clase del nodo EESOA se utilizó como clase base para crear la clase MassSpring agregando solo los atributos específicos de este algoritmo y respetando la funcionalidad del EESOA y asegurando que los dos algoritmos puedan trabajar en conjunto. La función cíclica que calcula el movimiento de masa-resorte a su vez ejecuta la función para calcular el backbone de EESOA.

5. IMPLEMENTACION Y RESULTADOS

5.1. Implementación

5.1.1. Simulación y ambiente de pruebas

El modelo y las simulaciones para EESOA se desarrollaron en Java utilizando la biblioteca Graphstream para simular gráficamente los nodos en la red, las conexiones y los roles asignados. El EESOA muestra el dron usando uno de los íconos de la Figura 10 de acuerdo con el rol asignado después de la ejecución de EESOA [8].

Para el algoritmo de masa-resorte, la clase EESOA se usó como padre y crear una nueva clase hija. Esta nueva clase hereda todos los atributos y funciones para ejecutar el EESOA y continuar trabajando adecuadamente, solo se debieron agregar los nuevos atributos y procesamiento relacionados con el algoritmo de masa-resorte como las funciones para calcular movimientos de acuerdo con sus vecinos y sus distancias actuales y las posiciones en x y en y.

El sistema masa-resorte está compuesto por todos los drones, intentando para mantener la distancia de equilibrio con todos los vecinos conectados y también las personas detectadas por los drones forman resortes más pequeños con la fuerza ejercida que se deben considerar en la Ecuación 7, para el equilibrio del sistema. La constante de resorte usada constante entre dos drones depende del rol actual asignado por EESOA a cada dron: los líderes, los puentes y las compuertas tiene una constante más grande que un nodo miembro común; esto se realiza para mantener la conexión y comunicación dentro de la red entre todos los nodos.

En la simulación, los elementos que se muestran son drones y personas en un área con un tamaño definido con una distancia de: longitud por longitud y ancho por ancho con el centro en 0,0 como se muestra en Figura 23.

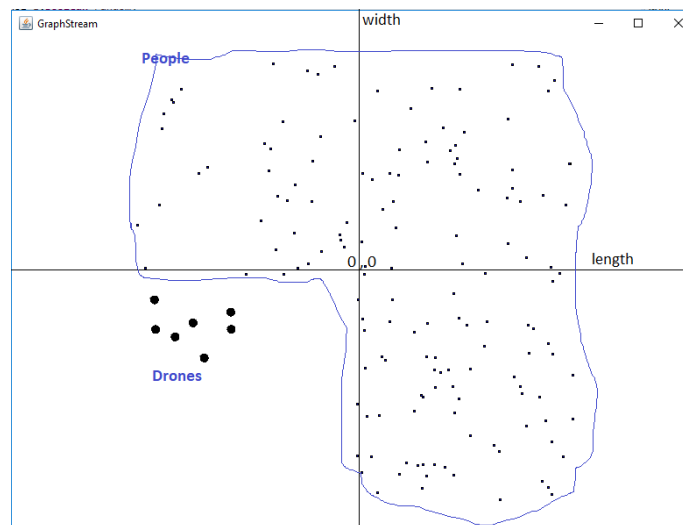


Figura 23 Área de la simulación donde se colocan los drones y personas

Para la simulación y prueba, los siguientes parámetros fueron configurados

- Rango de detección que tendrán los drones: esto se aplica a los vecinos drones que se alcanzan a detectar y personas detectadas.
- La longitud del área a ser explorada por los drones y en donde las personas serán localizadas.
- El ancho del área a ser explorada por los drones y en donde las personas serán localizadas.
- La cantidad de drones que se utilizarán durante la ejecución de la simulación
- El número de personas que se distribuirán aleatoriamente en la zona que se va a explorar.
- Distancia mínima entre los drones para la posición inicial de los drones.
- Distancia máxima entre drones al comienzo de la simulación.

Una vez que comienzan las simulaciones, los drones y las personas se colocan dentro del área de manera aleatoria, respetando la distancia mínima y máxima configuradas durante la compilación como: Distancia mínima y máxima entre dos drones.

La Figura 23 muestra un ejemplo de cómo luciría una simulación al inicio con los parámetros de configuración de la longitud, el ancho, las personas y los drones seleccionadas.

5.1.2. Diagrama de clases

Para la simulación se desarrollaron las clases para Masa-Resorte, Nodo Persona y Masa-Spring info utilizando como padres las clases existentes para EESOA. En la Figura 24 se observan los diagramas de clase para los objetos Nodo. Por otro lado, en la Figura 25 se muestran las clases utilizadas para la información transmitida por cada nodo de la red simulada. Finalmente, la Figura 25Figura 26 detalla el contenido de la clase utilizada para llevar registro de los vecinos de cada nodo en la MANET simulada.

Se puede apreciar como las clases previamente desarrolladas de Java se pueden utilizar sin realizar modificaciones considerables para lograr implementar las nuevas funcionalidades y tener todos los atributos necesarios para la Masa-Resorte.

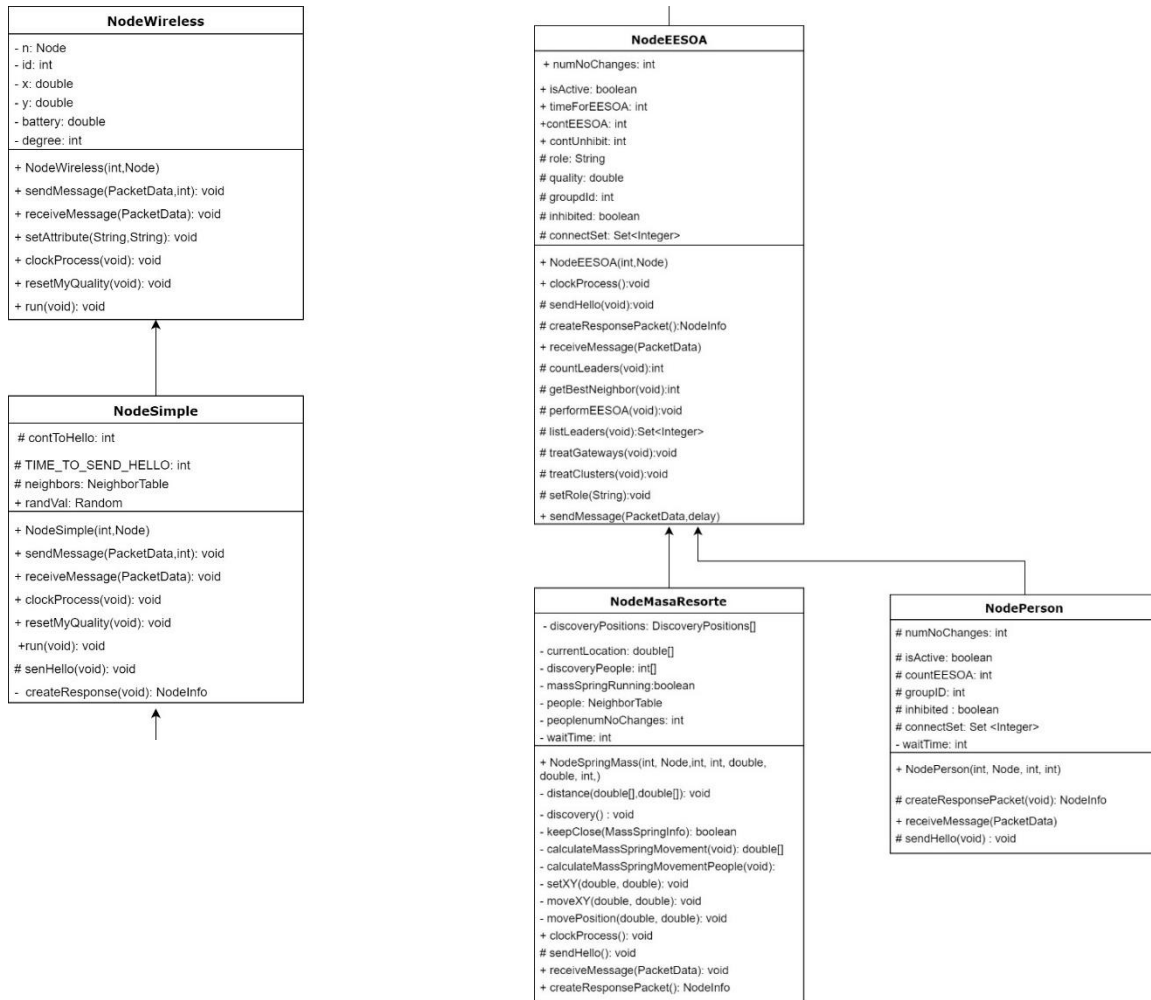


Figura 24 Diagrama de clases nodos

Tener NodeSimple como clase padre de NodeEESOA provee la flexibilidad de implementar nuevos protocolos y algoritmos independientes de EESOA y Masa Resorte entre los nodos de la red.

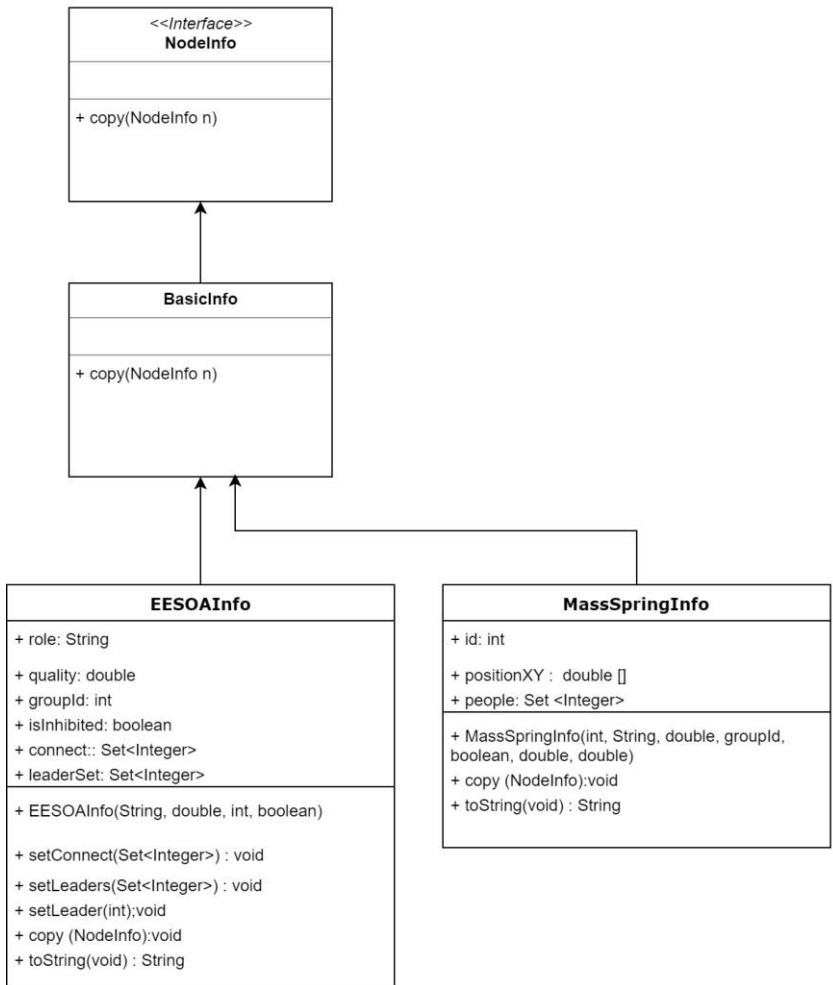


Figura 25 Clases para la información compartida por cada nodo

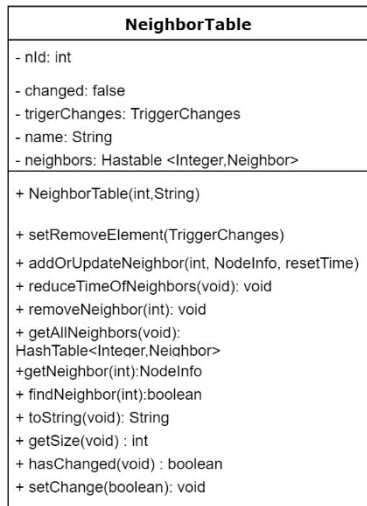


Figura 26 Clase de vecinos de la red Manet

5.1.3. Generación de modelos con nodos que van cambiando sus conexiones.

Se realizaron distintos conjuntos de pruebas en donde se logró simular el movimiento de conexiones de los drones y cambio en la topología de la red debido a estos movimientos. Estas pruebas solo utilizaban el EESOA para generar le backbone y asignar el rol correspondiente dentro de la red.

En la Figura 27 se aprecian distintos momentos dentro de las pruebas en los que se realizaron los movimientos en las conexiones y como los nodos al estar ejecutando EESOA cambian de rol de acuerdo a los vecinos detectados y el back bone se actualiza.

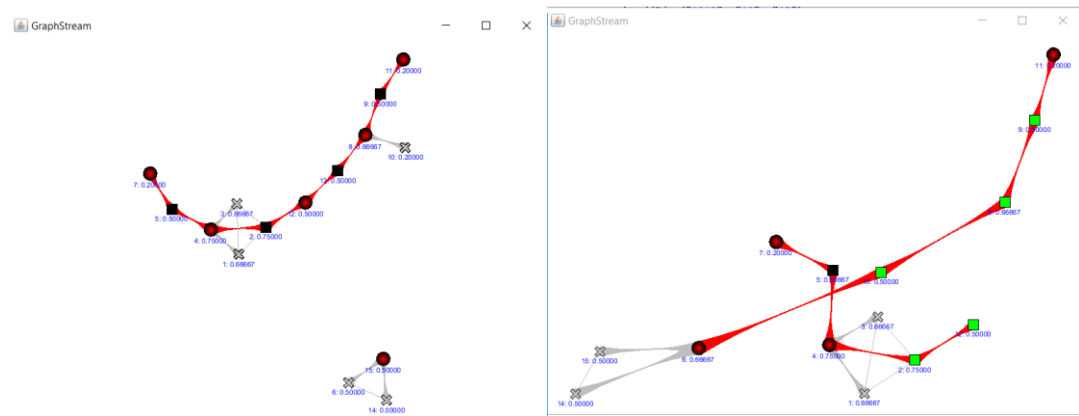


Figura 27 Estado inicial y final de dos redes en donde se ejecuta el EESOA

5.1.4. Posicionamiento de drones

Se encontró que es posible asignar una posición a cada nodo con una coordenada dada como (x,y,z) dentro de graph stream. Con esto se hicieron algunas pruebas para posicionar y manipular el lugar donde se establecen los nodos dentro del área. El API encontrada es setAttribute("xyz",x,y,z) y se hicieron varios pruebas para saber si es útil para el algoritmo de masa resorte.

En se aprecian algunas pruebas con diferentes posiciones en distintos nodos con el fin de visualizar efecto de los valores utilizados para los ejes x, y y z.

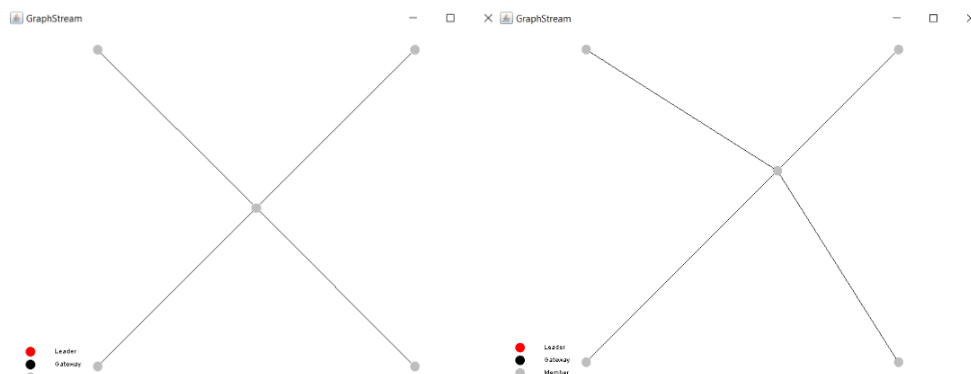


Figura 28 Nodos posicionados utilizando el API setAttribute("xyz",x,y,z) de graph stream



Figura 29 Cambio en la posición de algunos de los nodos con respecto a la posición inicial

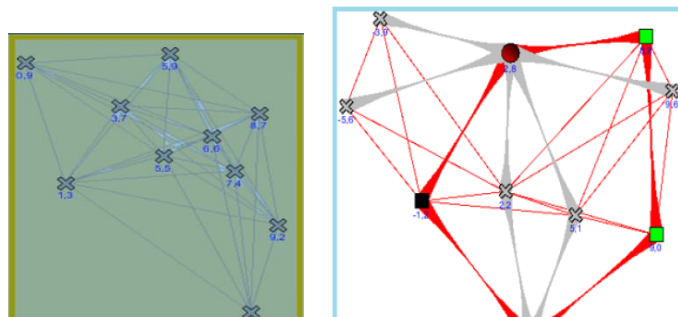
Después de realizar distintas pruebas se tiene la conclusión de que graph stream cambia de posición la cámara o punto desde donde se observan los nodos debido a que la posición (0,0,0) no siempre se muestra en la misma posición de acuerdo con los nodos existentes en el modelo. Se debe encontrar la manera de evitar esto y siempre tener la misma posición como referencia para poder visualizar correctamente el modelo de masa resorte.

5.2. Resultados de la simulación

5.2.1. Resultados de cobertura para Masa-resorte

Estas pruebas se realizaron con el propósito de observar cómo el área cubierta aumenta según los movimientos de los drones debido a la ejecución del algoritmo de masa - resorte trabajando en diferentes escenarios. El área de cobertura se calcula utilizando un rectángulo con las posiciones en x, y mínimas al inicio de la simulación y las posiciones x,y máximas después de ejecutarse el algoritmo con los nodos y personas colocados.

La Figura 30 muestra un caso de prueba con los estados iniciales con 10 nodos y respetando una distancia mínima de 2 y máxima de 3 entre el nodo que se va a insertar y los que ya fueron distribuidos en el área, y el estado final de los drones después de ejecutarse el algoritmo de masa-resorte. Se puede apreciar como la distancia entre cada nodo aumenta y los drones se distribuyen separándose para tratar de mantener la posición de equilibrio entre todos los sistemas masa resorte formados en cada nodo.



Finalmente, en la Figura 31 se puede observar la comparación entre el área cubierta al inicio y después de ejecutarse el masa-resorte para este caso de prueba. Para validar la comparación entre el área cubierta al inicio y después de ejecutar el algoritmo de masa resorte, se agregó una etiqueta en la simulación para poder visualizar las posiciones iniciales y finales en x y, para posteriormente calcular el área de cobertura en la simulación con las mismas. Se puede apreciar el incremento en el área cubierta al buscar la distancia de equilibrio entre los drones.

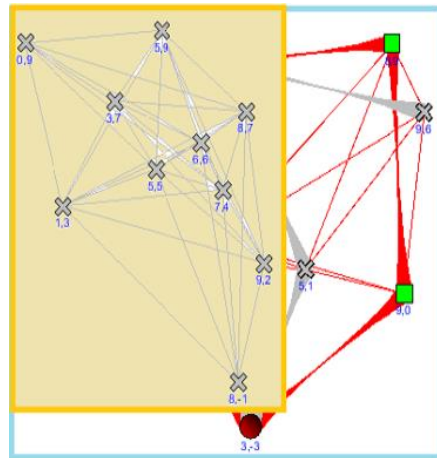


Figura 31 Comparaciones del estado inicial y final de un caso de prueba

La Figura 32 muestra una simulación con 15 drones, mientras que la Figura 33 muestra los resultados con 25 drones. Con esto se puede apreciar las diferencias en el comportamiento de la simulación dependiendo de la cantidad de drones que se utilizan en la misma área y en este caso el área cubierta tiene un mayor crecimiento.

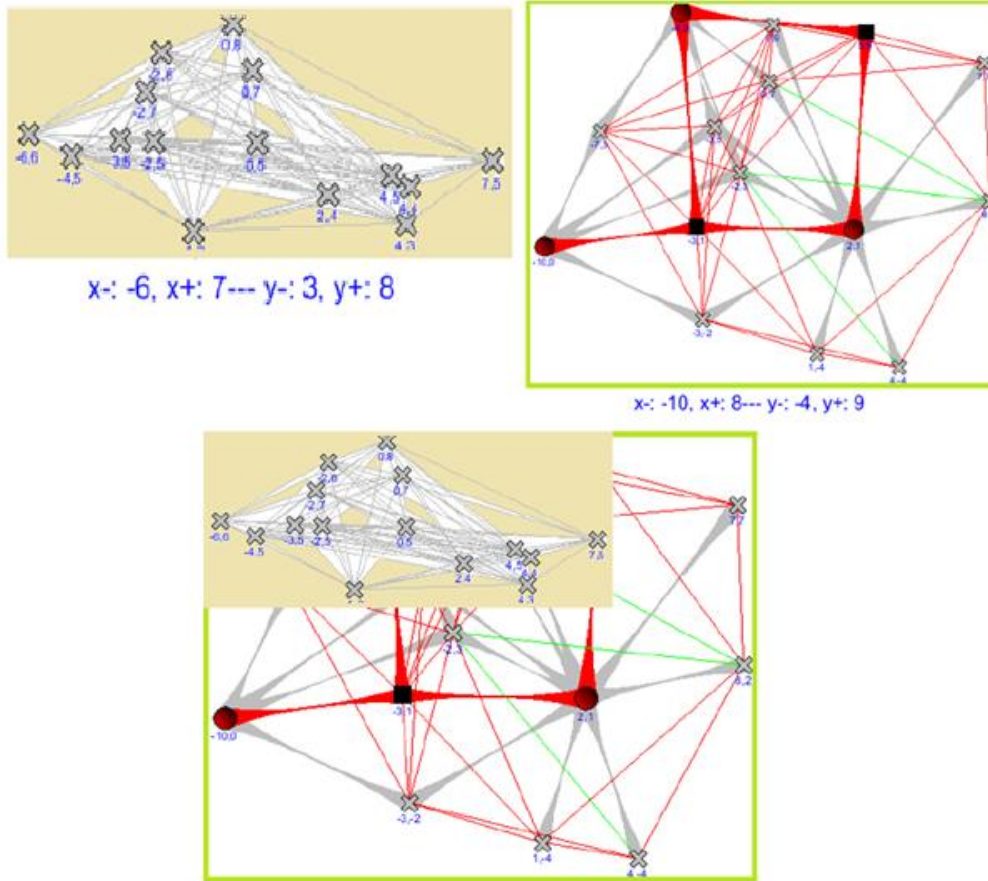


Figura 32 Simulación con 15 drones, antes y después de masa-resorte

Se puede observar como los drones al inicio se encuentran muy cercanos entre ellos y una vez que el EESOA asigna un rol correspondiente de acuerdo con todos sus vecinos; el algoritmo de masa resorte empieza a mover los drones aumentando la distancia entre ellos y así llegar a tener una distribución mayor en el área sin llegar a perder la comunicación en la red. Se puede observar como el rol asignado por el EESOA afecta en la toma de decisión para los movimientos de los drones y los líderes mantienen a sus miembros cerca y entre miembros se aumenta la distancia entre ellos.

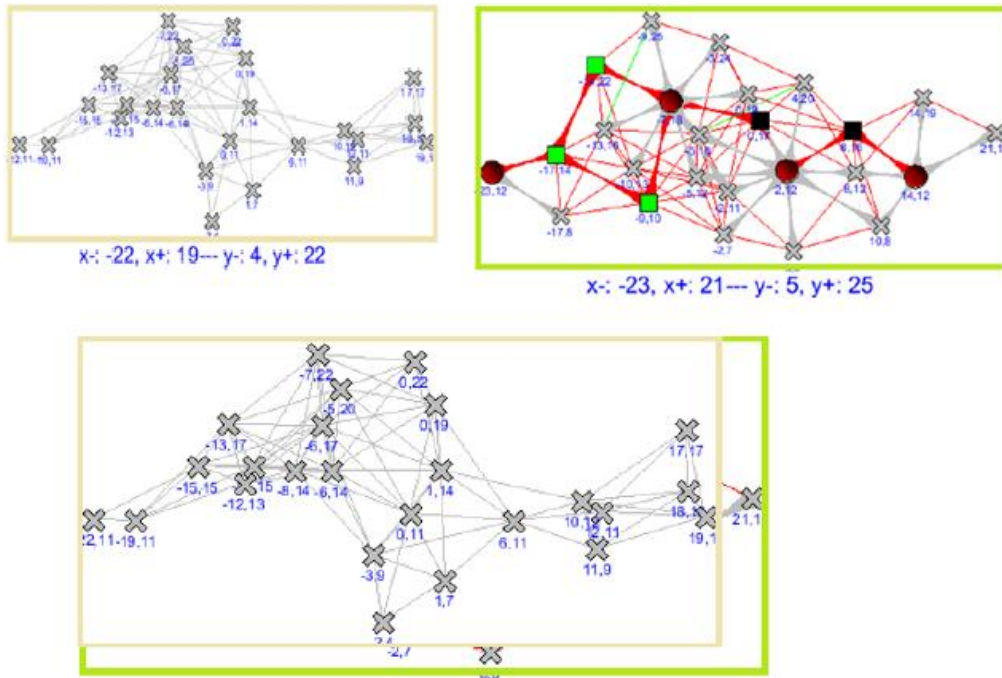


Figura 33 Simulación con 25 drones, antes y después de ejecutar masa-resorte

La Tabla 1 muestra varios casos de prueba de la simulación comparando las áreas cubiertas antes y después de la ejecución del algoritmo. Esta tabla muestra como el área de cobertura aumenta 2.17, 2.88 y 4.15 veces para cada caso y al incrementar los nodos a 25 el área aumenta 1.57 veces.

Tabla 1 Cobertura de área al inicia y final en simulaciones

Simulación	Posiciones en x,y	Área inicial	Posicion x,y final	Área final
1	x: 0.9, y:-1.9	9 * 10 = 90	x: -3.9 y:-3.9	14 * 14 = 196
2	x: -4.2 y: -4.9	6 * 13 = 78	x: -8.7 y:-6.9	15 * 15 = 225
3	x: -6.7 y:3.8	13 * 5 = 65	x: -10.8 y: -4.9	18 * 15 = 270
4	x:-22.19 y:4.22	31 * 18 = 558	x: -23.21 y:5.25	44 * 20 = 880

5.2.2. Resultados de personas ubicadas utilizando masa y resorte

Estos casos de prueba se realizaron con el propósito de ver el número de personas que los nodos son capaces de localizar al principio de la simulación y comparar con el número de personas ubicadas después de la ejecución de masa resorte, se buscará que este número aumenta este número con el movimiento de los drones y así una mejor distribución en el área que se debe cubrir.

La Figura 34 muestra cómo el número de individuos localizados cambió desde el principio hasta después de haberse ejecutado el algoritmo utilizando 7 drones y 150 personas en la simulación, se puede apreciar

como el número de personas aumenta al tener los drones separados y tener una mayor cobertura del área analizada en la simulación.

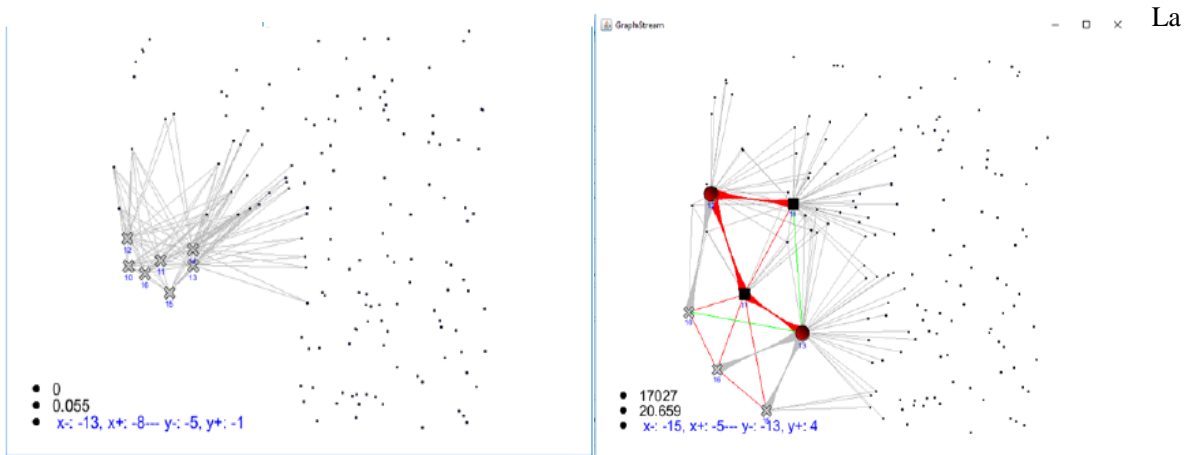


Figura 34 Personas encontradas al inicio de la simulación y después de ejecutar masa-resorte

Figura 35 muestra cómo el número de individuos localizados cambió desde el principio hasta después de haberse ejecutado el algoritmo utilizando 7 drones y 200 personas en la simulación.

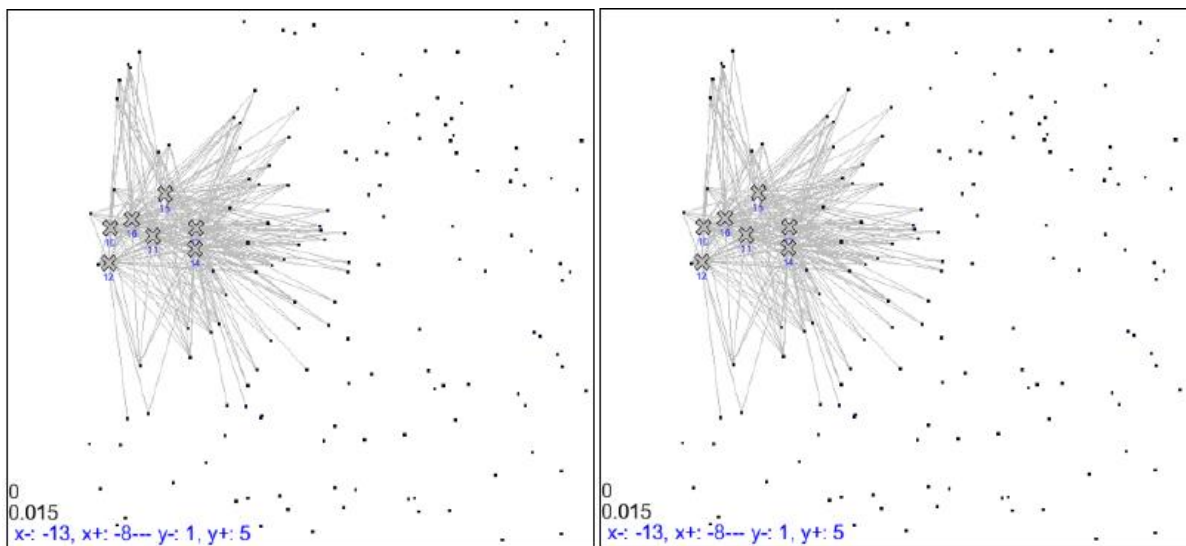


Figura 35 Personas localizadas antes y después de ejecutar ESSOA y masa-resorte

Finalmente, la Figura 36 muestra un escenario utilizando 10 drones y 100 personas distribuidas para comparar el número de personas localizadas al inicio y al final después de ejecutar el masa-resorte, en este caso de prueba se logra casi una total cobertura de personas detectadas en el área.

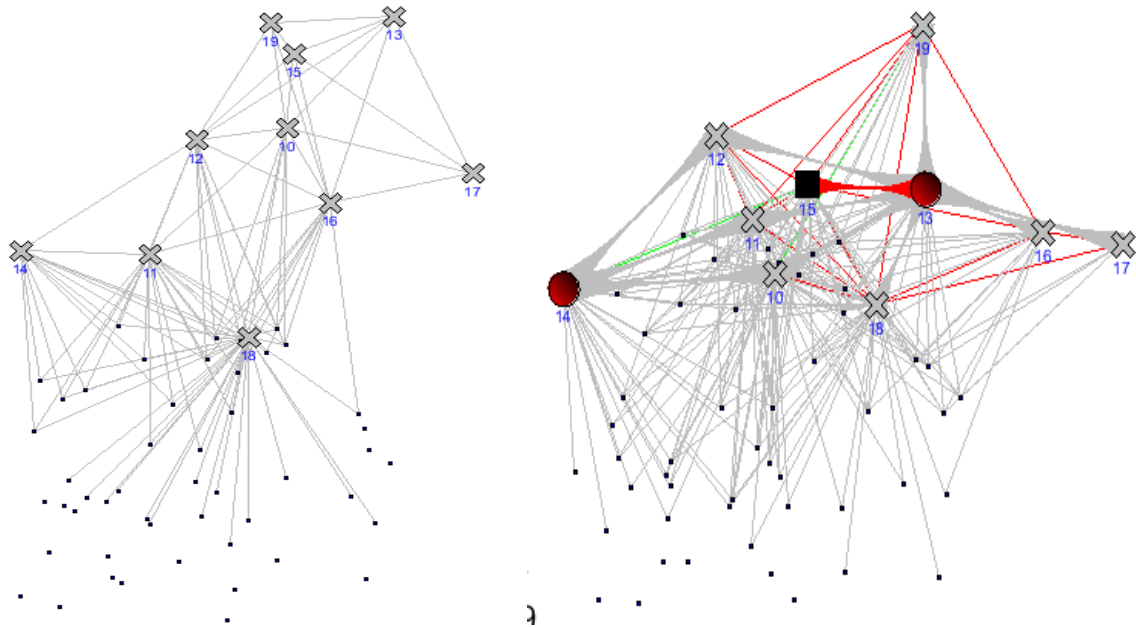


Figura 36 Personas localizadas antes y después de ejecutar ESSOA y masa-resorte

Estos casos de prueba muestran cómo se mueven los drones para aumentar el área cubierta e intentando ir a los lugares donde se encuentra las personas e incrementar las personas encontradas en el área explorada. Estas simulaciones se realizaron con la configuración inicial con las personas vistas en posiciones iniciales.

5.2.3. Masa – resorte comparado con desplazamientos sin masa - resorte

En la Figura 37 se muestra una comparativa de dos simulaciones mostrando el número de personas localizadas por la MANET de drones utilizando dos diferentes algoritmos para decidir el lugar al que se debe desplazar cada nodo: 1) moviéndolos utilizando un algoritmo de desplazamiento libre hacia la posición en la que cada dron ubica el mayor número de personas, 2) movimiento de drones decidiendo la siguiente posición mediante masa-resorte. Con estas pruebas se aprecia que usando el método 1, la posición final no muestra incremento de personas localizadas en el estado inicial contra el final, por lo que no hay mejoría utilizando este algoritmo ya que en el estado inicial de la simulación mostrado en Figura 38 se detectan más personas.

Los resultados obtenidos muestran una notable ventaja de utilizar el algoritmo de masa resorte contra un movimiento libre, con esto el área cubierta es mayor y los drones no tienen a mantenerse juntos y dirigirse hacia el mismo punto y detectar a las mismas personas. Por el contrario, el área es explorada y en conjunto con las posiciones de los demás nodos se logra tomar la mejor decisión para el desplazamiento que se debe realizar y conservar un estado de equilibrio en las distancias y por consiguiente aumentar las personas localizadas.

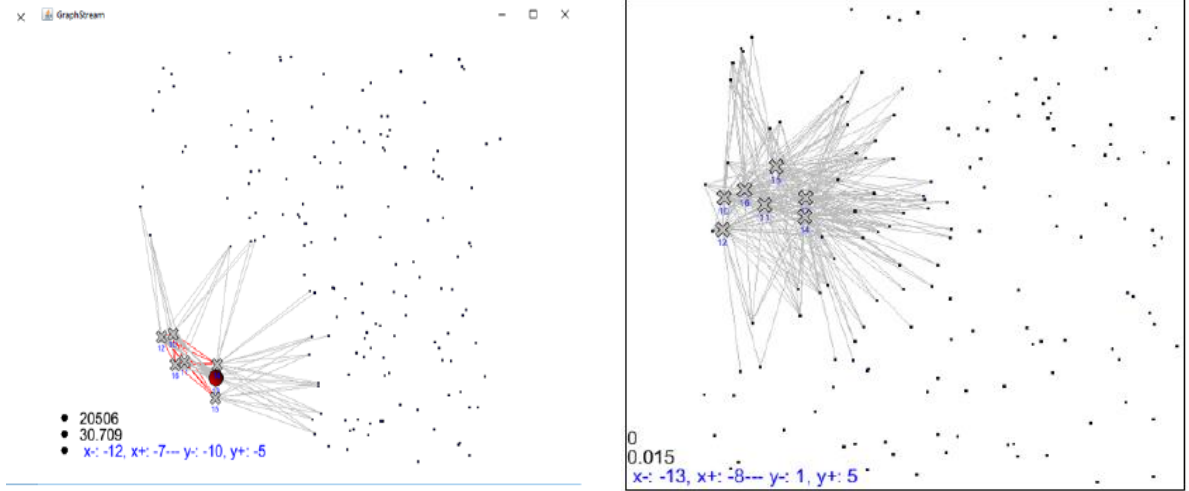


Figura 37 Comparación de dos simulaciones con movimiento libre y movimiento con masa-resorte

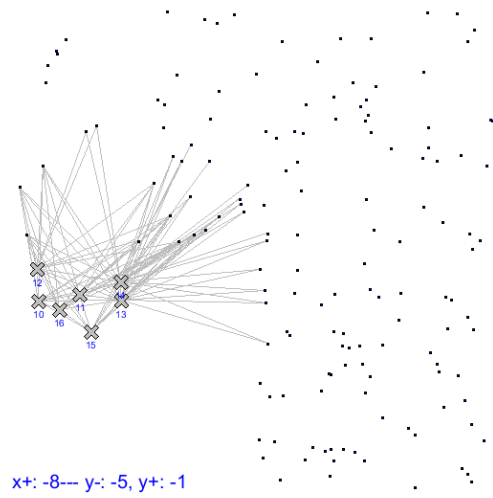


Figura 38 Personas detectadas al inicio de la simulación

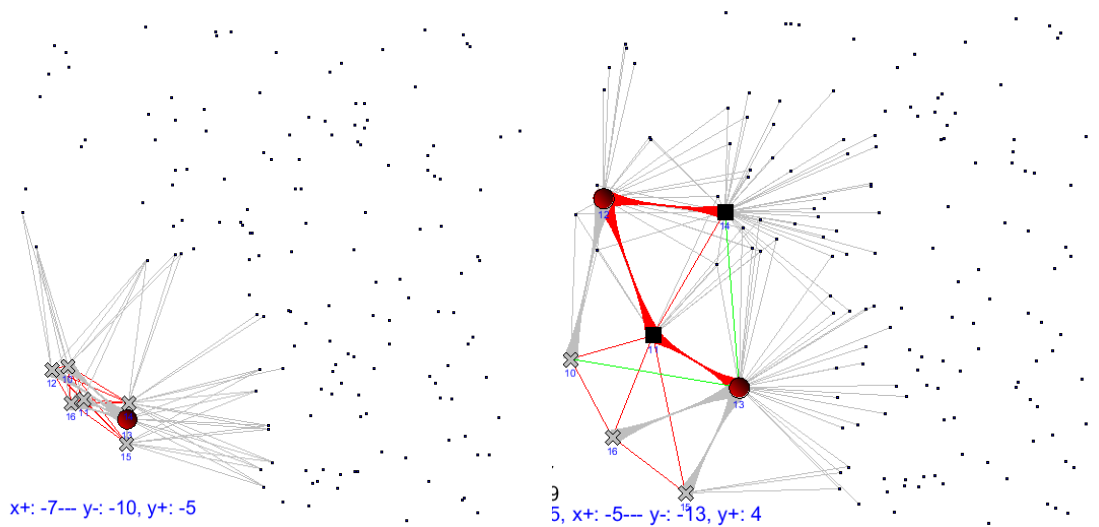


Figura 39 Personas detectadas con movimiento con y sin masa-resorte

La Tabla 2 muestra varios casos de prueba de la simulación comparando las áreas cubiertas antes y después de la ejecución del algoritmo. Esta tabla muestra como el área de cobertura aumenta 2.17, 2.88 y 4.15 veces para cada caso y al incrementar los nodos a 25 el área aumenta 1.57 veces.

Tabla 2 Comparación de las personas detectadas en las simulaciones

Simulación	Personas	Localizadas al inicio	Localizadas con masa-resorte	Localizadas sin Masa resorte
1	150	29	52	17
2	200	27	65	18

6. CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se ha comprobado las funcionalidades y ventajas que ofrece la actual implementación del EESOA en Java para las redes MANETs. Se realizaron distintas pruebas para validar que los nodos siempre están conectados y el back bone correspondiente permite siempre que todos los nodos mantengan siempre la comunicación con todos a pesar de que los nodos se encuentran en movimiento y con una ubicación diferente.

El presente trabajo presenta una simulación de cómo se pudiera utilizar el algoritmo EESOA en una aplicación para ayudar en áreas de desastre usando MANETs y optimizar la búsqueda de personas en el área afectada.

Se pudo demostrar mediante distintas simulaciones que al usar los algoritmos EESOA y Mass Spring, se logra una optimización en el uso de drones en la búsqueda para que las personas maximicen su eficiencia una vez colocadas en un posición inicial y, dado que son algoritmos distribuidos, cada dron es capaz de procesar la información de ellos mismos y sus vecinos; y se logra eliminar la necesidad de tener un sistema de control central para indicar los movimientos de cada dron dentro del área analizada.

En los resultados obtenidos se observa como el área cubierta aumenta 2.17, 2.88 y 4.15 dependiendo del área cubierta y los drones utilizados y las personas localizadas por la red es mayor después de que el algoritmo de masa-resorte se ejecuta al inicio o al realizar movimiento de drones solo decidiendo por donde se detecta la mayor concentración de personas.

6.1. Trabajo Futuro

Como trabajo futuro se pretende considerar el uso de la batería en cada dron de acuerdo con el número de mensajes que mandan hacia la red a la que pertenecen y ver el comportamiento de la red al tener nodos que dejan de responder debido a que se han quedado sin energía y dejan de funcionar. Asimismo, se deberá probar el algoritmo en drones reales tomando en cuenta las especificaciones de hardware, batería y alcance diferente de cada dron utilizado.

Además, el algoritmo deberá poder decidir cuándo es la mejor topología de la red y mantener las posiciones estables sin movimiento e informar su estado a una estación de control central de los lugares donde la gente se encontró.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Java Foundations: Java - Estándares de programación.” [Online]. Available: <http://javafoundations.blogspot.mx/2010/07/java-estandares-de-programacion.html>. [Accessed: 26-Nov-2016].
- [2] Facebook, “Help Center.” [Online]. Available: https://www.facebook.com/help/695378390556779?helpref=faq_content. [Accessed: 26-Nov-2016].
- [3] “FINDER Search and Rescue Technology Helped Save Lives in Nepal | NASA.” [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/jpl/finder-search-and-rescue-technology-helped-save-lives-in-nepal>. [Accessed: 26-Nov-2016].
- [4] “Espiar en Móviles | Rastrear SMS | Rastrear Teléfonos Celulares | Monitorear Smartphone.” [Online]. Available: <https://www.flexispy.com/es/>. [Accessed: 26-Nov-2016].
- [5] “UNACEM pone a disposición la app ‘SEÑAL DE VIDA’ | UNACEM - Construyendo Oportunidades.” [Online]. Available: <http://www.unacem.com.pe/?p=10154>. [Accessed: 26-Nov-2016].
- [6] Google, “Person Finder Help.” [Online]. Available: <https://support.google.com/personfinder/?hl=es-419#1628150>. [Accessed: 26-Nov-2016].
- [7] J. A. Garcia-Macias and J. Gomez, “Manet versus wsn,” in *Sensor networks and configuration*, Springer, 2007, pp. 369–388.
- [8] J. G. Olascuaga-Cabrera, A. Mendez-Vazquez, and E. Lopez-Mellado, “A Novel Distributed Energy-Efficient Self-Organized Algorithm for Wireless Ad Hoc Networks,” 2012, pp. 19–26.
- [9] “ns-3 Tutorial — Tutorial.” [Online]. Available: <https://www.nsnam.org/docs/release/3.25/tutorial/html/index.html>. [Accessed: 26-Nov-2016].
- [10] J. Chalmeta Ugas, “Estudio y análisis de prestaciones de redes móviles Ad Hoc mediante simulaciones NS-2 para validar modelos analíticos,” 2009.
- [11] “Dinámica de un Sistema Masa-Resorte-Amortiguador” [Online]. Available: <https://dademuchconnection.wordpress.com/2017/07/18/dinamica-de-un-sistema-masa-resorte-amortiguador/>. [Accessed: 26-Nov-2016].
- [12] R. Azarderakhsh, A. H. Jahangir, and M. Keshtgary, "A new virtual backbone for wireless ad-hoc sensor networks with connected dominating set," *Third Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services*, pp. 191-195, 2006.
- [13] García Macías, J. A., & Gómez Castellanos, J. (2006). “MANET versus WSN. In Nitaigour P. & Mahalik (Eds.), *Sensor Networks and Configuration: Fundamentals, Standards, Platforms, and Applications*. Springer (ID: 8933)
- [14] O. Erim and C. Wright, "Optimized mobility models for disaster recovery using UAVs," *2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Montreal, QC, 2017, pp. 1-URL <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8292716&isnumber=8292162>