

DISEÑO DE UNA TOPOLOGÍA TIPO CLUSTER DE PRUEBA PARA UNA IWSN ESTÁTICA, BASADO EN UN ALGORITMO SECUENCIAL DE OPTIMIZACIÓN

ANDRÉS F. SOTO P.

Universidad Tecnológica Metropolitana
Doctorando en Ciencias de la Ingeniería, Mención Automática, USACH
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Av. José Pedro Alessandri 1242, Ñuñoa. Santiago, Chile
e-mail: andres.soto@utem.cl

PATRICIO OLAVARRIETA S.

Ingeniero Civil Electricista, Universidad Tecnológica Metropolitana
U de Ch., Master Dpl U. Jaume I Castellón España
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Av. José Pedro Alessandri 1242, Ñuñoa, Santiago de Chile
e-mail: polavarr@utem.cl

LUCIO CAÑETE A.

Universidad de Santiago de Chile
Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Mención Automática
Departamento de Tecnologías Industriales
Avenida Ecuador 3769, Estación Central, Santiago de Chile
e-mail: lucio.canete@usach.cl

CARLOS ÁLVAREZ G.

Universidad de Santiago de Chile
Doctorando en Ciencias de la Ingeniería, Mención Automática
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Ecuador 3769, Estación Central, Santiago de Chile.
e-mail: carlos.alvarez@technologies.cl

RESUMEN

Las topología de redes de sensores inalámbricos (WSN) constan de muchos nodos de bajo costo, cada uno con capacidad de detección y poder de comunicación, en ellas una de sus prioridades es la administración. En este trabajo, se presenta un mecanismo de elección de Cluster-Head y número de sensores por Cluster bajo un algoritmo secuencial de optimización, el cual tendrá como variables: el radio de cobertura (DC), separación y costo de transmisión entre nodos. De esta forma se espera mejorar el desempeño de los parámetros asociados al tiempo Real, de una Red de Sensores Inalámbricos Industrial Estacionaria de Prueba (IWSN).

Palabras Clave: Redes de Sensores Inalámbricos Industriales, Buses de Campo, Topologías, Redes de Actuadores Inalámbricos, Sistemas Embebidos, Sistemas Distribuidos, Manufactura Flexible, Confiabilidad, Consumo Energético.

ABSTRACT

The topology wireless sensor networks (WSN) comprise many nodes inexpensive each with detection capacity communication power in them a priority is administration. In this work presents an election mechanism Cluster-Head and number sensors per Cluster under sequential algorithm optimization which will variables: coverage radius (DC) separation and transmission cost between nodes. This in turn should improve the performance of the parameters associated with the real time of a Wireless Sensor Network Industrial Stationary Test (IWSN).

Keywords: Industrial Wireless Sensor Networks, Field Bus, Topologies, Wireless Actuator Network, Embedded Systems, Distributed System, Flexible Manufacturing, Reliability, Power Consumption.

- ▶ ANDRÉS F. SOTO P.
- ▶ PATRICIO OLAVARRIETA S.
- ▶ LUCIO CAÑETE A.
- ▶ CARLOS ÁLVAREZ G.

1 INTRODUCCIÓN

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) han sido un tema de investigación durante los últimos años. Algunas de sus líneas de estudios son: difusión de la información [5], uso eficiente de la energía, performance, enrutamiento [1] [2] y seguridad [7] entre otras. Estas se han aplicado con éxito en ambientes de vigilancia natural. Sin embargo, en sistemas de control de tiempo real, aun no generan la confianza suficiente. Varias organizaciones industriales, como WINA (Wireless Industrial Networking Alliance) [19] y ZigBee [20], han abogado por la aplicación de tecnologías inalámbricas en el control industrial.

Por otro lado, las redes inalámbricas de sensores son en su mayoría utilizadas en la detección, es decir, la recopilación de datos y alimentación de los puntos de procesamiento central. En la figura 1 [8] se indica el diagrama de bloques funcional de un nodo sensor inalámbrico tipo.

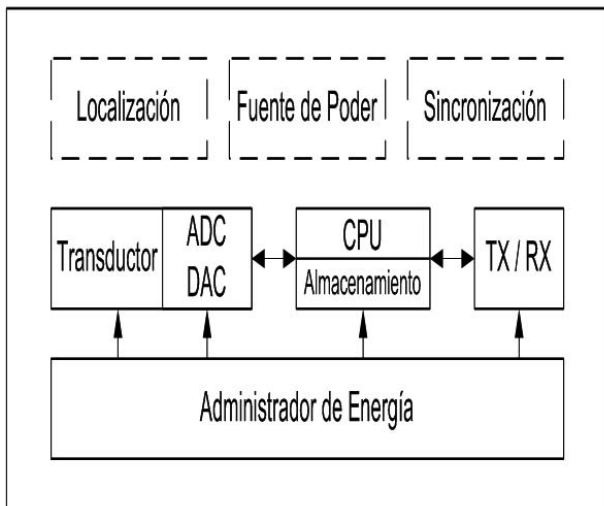


Figura 1: Diagrama de bloques de un nodo inalámbrico.

Algunas de las taxonomías de tecnología inalámbrica existentes se presentan a continuación en la figura 2 [9].

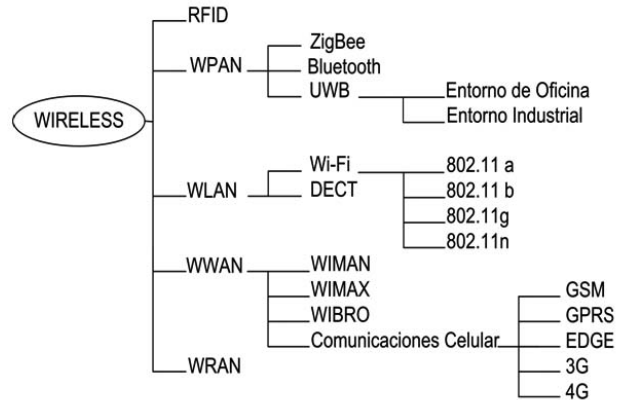


Figura 2: Taxonomía de Tecnologías Inalámbricas

En la figura 3 [8] se puede apreciar los estándares inalámbricos existentes y predominantes en la investigación, aplicación y desarrollo de las soluciones inalámbricas orientadas a ambiente industrial, entre otros.

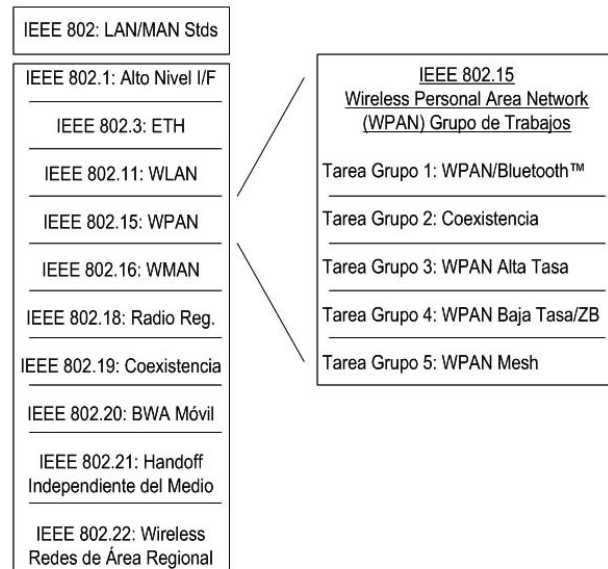


Figura 3: Familia de normas IEEE802

Un sistema de control de procesos tradicional se presenta en la Figura 4 [1].

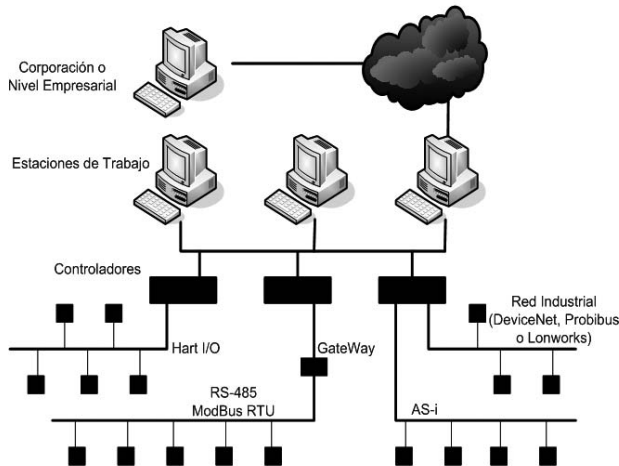


Figura 4: Sistema de control tradicional

Como se observa en la figura 4, los dispositivos están conectados a los controladores a través de algunos tipos de buses, como ModBus [17] y Profibus [18]. Por lo general, cada dispositivo puede ser un sensor o un actuador. Un sensor recopila información sobre una situación determinada de un proceso y alimenta a un controlador [16].

Con base en las lecturas de los sensores, el controlador determina si los actuadores deben actuar para mantener alguna propiedad física del proceso.

El fin que se persigue es sustituir los buses de campo de los controladores y dispositivos de un sistema de control por las redes inalámbricas. A pesar de que el beneficio inalámbrico de control de procesos es muy atractivo, muchos aspectos técnicos tienen que ser resueltos para hacer el control de procesos inalámbricos viables, entre ellas:

- Interferencias transitorias: la comunicación inalámbrica es sensible a las interferencias. Por lo tanto se tiene que proporcionar en forma determinística y oportuna la entrega de datos en caso de falla en el enlace inalámbrico.

- Eficiencia energética: La energía es siempre un problema para las de baterías de dispositivos. El sistema de control no puede fallar si a un sensor o actuador se le agota la energía.
- Seguridad: Algunas lecturas de los sensores son sensibles y necesitan ser protegidos por seguridad. Por otra parte, el actuador debe ser protegido de intrusos para evitar acciones no deseadas.
- Comunicaciones de baja calidad: Las redes de sensores son a menudo implementadas en ambientes adversos o climas extremos. En esas situaciones, la calidad de la radiocomunicación podría ser pobre y la ejecución de la tarea de detección podría llegar a ser muy difícil.

Del análisis anterior, surge la pregunta: ¿Qué hay que hacer para aplicar soluciones inalámbricas industriales? Los ambientes industriales presentan algunos problemas específicos y necesidades. Un ejemplo es I&C, referente a la instrumentación, Supervisión y Control de los procesos. I & C se centra principalmente en tres niveles (0, 1 y 2). Su arquitectura funcional tiene varios niveles, en particular a nivel de interfase los requisitos necesarios para ser alcanzados por la red de comunicaciones son los siguientes:

- Nivel 0 al nivel 1: Control en tiempo real (transmisión duplex en forma estable en enlaces de comunicaciones), transferencia determinista de datos (robustez de la pila LLC), con un tamaño pequeño de los paquetes empleados en la transmisión de información como control de la red.
- Nivel 1 al nivel 2: Amplia gama de comunicaciones, con medio físico de tipo híbrido, no siempre conectados, con mayor velocidad en la transmisión de datos.

Con el fin de lograr algunos beneficios, es necesario que se cumplan las siguientes condiciones como indica la tabla 1, entre otros:

	Desafíos	Solución	Optimizaciones
1	EMI (Interferencia Electromagnética)	DSSS, Retransmisión, UWB	Cortes, Protocolos de banda ancha.
2	Dispositivos RF de igual Banda	OFDM, CSMA	Retransmisión aleatoria
3	Ruta perdida	DSSS, MIMO	Múltiples antenas
4	Desvanecimiento	Repetidores, Antenas inteligentes	Regulación de Energía
5	Radio Celular	Experiencia en RF, Bases fijas Híbridas y Estaciones móviles	Herramientas de Modelamiento para ambientes Radio.
6	Protocolos de red	Protocolo de enrutamiento proactivo para la demanda.	Protocolos adaptativos orientados a la energía, Equilibrio entre nodos y Carga útil.

Tabla 1: Soluciones sugeridas y optimizaciones [9]

2 MOTIVACIÓN

Las siguientes dos características de las redes de sensores inalámbricos representan la importancia de la cobertura del sensor conectado como problema.

- Consultas Espacial: Debido a la distribución geográfica de los sensores en una red IWSN, cada pieza de datos generados por los sensores de la red tiene una ubicación geográfica asociados a ella [4]. Por lo tanto, cada sensor de la red tiene un tiempo de ventana y una región geográfica asociados ante una pregunta

[4]. Por defecto, la región geográfica asociados a ese tipo de consultas espacial está orientada a la región cubierta por las regiones de detección de todos los sensores de la IWSN.

- Batería Limitada: Los sensores son minúsculos dispositivos con un número limitado de energía de la batería. Además, como se pone de manifiesto en algunos estudios recientes [3]. El costo de energía para la comunicación es muchas veces más de computación con la tecnología disponible. Por lo tanto, reducir al mínimo los costos incurridos en comunicación en respuesta a una pregunta en una red IWSN se traducirá en una red más duradera. Por lo tanto, la comunicación y administración eficaz en las IWSN es de gran interés.

La motivación para la cobertura del sensor en este artículo proviene de la presencia de consultas y respuestas en un sensor y la importancia de la ejecución de esas preguntas con un mínimo de tiempo y consumo de energía.

Dada una transmisión y recepción en una red de sensores, se desea:

- Seleccionar un pequeño número de sensores que son suficientes para responder a la pregunta con precisión.
- Por otra parte, el conjunto seleccionado debe conectar a un grupo de sensores en forma gráfica, a fin de que puedan formar una topología de enrutamiento lógico para la recolección de datos y su transmisión a la fuente de consulta.

Por lo tanto, se quiere seleccionar un conjunto óptimo de sensores que cumplen las condiciones de cobertura, así como la conectividad [11][12][13][14], es decir, una conexión óptima de sensores a cubrir y administrar entre ellos preguntas y respuesta en la IWSN.

La construcción de una red óptima conectada permite la ejecución de la consulta en un tiempo y energía muy eficiente [6]. Considerando una combinación entre la cobertura de cada nodo sensor y la conectividad en un

único algoritmo en lugar de utilizar un enfoque alternativo y tratarlos como dos subproblemas, la solución óptima para ésta combinación siempre será igual o mejor que la solución tratada en forma independiente.

Una topología de cluster con cluster-head como administrador y gateway, agrupa al conjunto de nodos en subconjuntos (clusters) recolectores, más un nodo supervisor por subconjunto para la comunicación entre clusters y sink.

La topología seleccionada a optimizar e implementar se muestra en la figura 5, la cual se resolverá mediante una implementación de un algoritmo secuencial de optimización de recursos. Se observa, tanto la administración como la comunicación entre clusters se realizan a través de nodos Cluster-Heads.

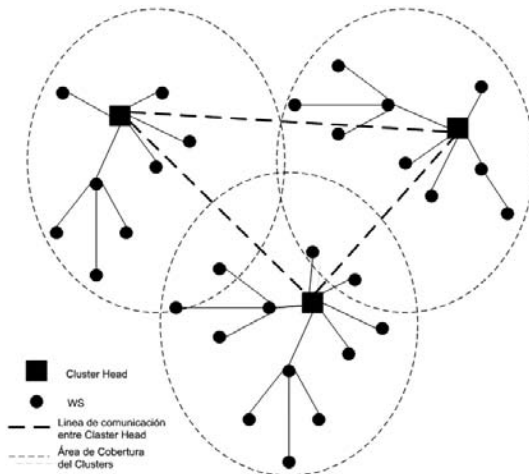


Figura 5: Distribución de Cluster y Cluster Heads.

3 FORMULACIÓN DEL MODELO

El algoritmo secuencial a implementar integra dos modelos matemáticos, como se muestra en el siguiente diagrama de flujo, ver figura 6:

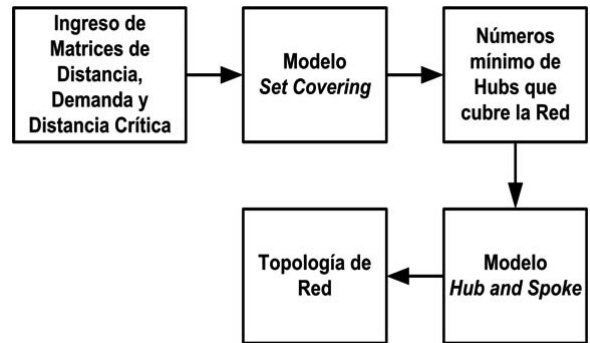


Figura 6: Diagrama de flujo de algoritmo secuencial.

Se confeccionan dos matrices, una de distancia (Distanc) full conexión entre cada nodo de la red, está matriz tendrá su diagonal principal con un número lo suficientemente grande para no caer en la auto elección de un nodo y producir islas (nodos aislados o escondidos) o Hub aislados.

La segunda matriz se confecciona con la demanda de prueba (DDA), estimada y cuantificada de cada nodo al ser activado, ya sea por tiempo o por evento.

Se considera una red homogénea desde el punto de vista de los transmisores y receptores que se utilizaran en la comunicación de la Red, la distancia crítica (DC) o de cobertura.

Para adquirir la distancia crítica (DC) se utiliza la medida de la fuerza de la señal recibida de una señal de radio entrante. Es decir, configurando el nivel de potencia de transmisión (P_{tx}) en el dispositivo transmisor se obtiene el nivel de potencia recibido (P_{rx}) en el nodo receptor. De acuerdo con la ecuación de transmisión en espacio libre de Friss, la señal detectada decrece cuadráticamente con la distancia al emisor [10], como se muestra en la ecuación 1.

$$P_{RX} = P_{TX} * G_{TX} * G_{RX} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1)$$

- ▶ ANDRÉS F. SOTO P.
- ▶ PATRICIO OLAVARRIETA S.
- ▶ LUCIO CAÑETE A.
- ▶ CARLOS ÁLVAREZ G.

- P_{TX} = Potencia de Transmisión del transmisor.
- P_{RX} = Potencia Umbral de Recepción del receptor.
- G_{TX} = Ganancia de la Antena de transmisor.
- G_{RX} = Ganancia de la Antena de receptor.
- λ = Longitud de Onda.
- d = Distancia entre emisor y receptor

Sin embargo, en escenarios prácticos, la distribución ideal de PRX no es aplicable, porque la propagación de la señal de radio interfiere con muchos elementos: Reflexiones en objetos metálicos, superposición de campos electromagnéticos, difracción en los bordes, refracción por media con diferentes velocidades de propagación, etc. Estos efectos degradan la calidad de la PRX determinada de forma significativa. De este modo, la caracterización es experimental: Con una nube de puntos se obtiene una tendencia que será tomada como referencia.

Para manejar el concepto de Prx se utiliza otro, el concepto de Calidad del enlace (LQI: Link Quality Indicator), que viene definido en la norma de la IEEE 802.15.4 [15], con la cual se trabajara, del siguiente modo: “La medida LQI es una caracterización de la fuerza y/o la calidad del paquete recibido, el cual es proporcional al indicador de señal recibida (RSSI: received signal strength indicator), donde RSSI se define como la proporción de la potencia recibida a la potencia de referencia (Pref.). Normalmente, la potencia de referencia representa el valor absoluto de un 1mW [10].

$$RSSI = 10 * \log \left(\frac{P_{RX}}{P_{Ref}} \right) \quad [RSSI] = dBm \quad (2)$$

La medida LQI puede ser implementada usando una estimación de la potencia recibida, la señal a ruido o una combinación de ambos métodos. El uso de los resultados de LQI no es especificado en el estándar.”

Luego de calcular la distancia por medio de la ecuación de Friss, teniendo en cuenta los siguientes parámetros: Frecuencia de trabajo de 2.4 Ghz; potencia de transmisión o dbm (1mw); umbral de recepción de trabajo -92 dbm; ganancia de antenas de Receptor y emisor igual -1.5 dbi y aplicando el concepto de LQI, se redondea

la Distancia de Cobertura (DC) en un valor igual a 23 metros.

Con respecto al primer modelo matemático a usar es el denominado Set Covering, el cual cuenta con los siguientes parámetros de formulación:

DEFINICIÓN DE VARIABLES

Parámetros de Entrada:

f_j : Costo de localizar un servidor en el nodo j.

a_{ij} : 1, Si el nodo j puede ser atendido desde el nodo i, en otro caso.

Variables de Decisión:

X_j : 1, Si el nodo j es Servidor, en otro caso.

Funcion Objetivo

$$\text{Min } Z = \sum_j f_j x_j \quad (3)$$

Restricciones

$$\sum_j a_{ij} x_j \geq 1 \quad \forall i \quad (4)$$

$$x_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (5)$$

Este modelo permite obtener el número mínimo de Hub que cubren y satisfacen la red de acuerdo a la DC

calculada anteriormente, debido a que solo $a_{ij} = 1$, si la distancia entre el nodo i con respecto al nodo j es menor o igual a DC.

El segundo modelo matemático a usar es el denominado Hub and Spoke, este modelo cuenta con los siguientes parámetros de formulación:

Definición de Variables

Parámetros de Entrada:

H_{ij} : Demanda entre el nodo origen i y el nodo destino j .

X_k : Distancia entre el nodo i y el nodo j .

Costos

- α : Costo Unitario de Recolectar por unidad de distancia y unidad de Demanda.
- β : Costo Unitario de Transferir por unidad de distancia y unidad de Demanda.
- γ : Costo Unitario de Distribuir por unidad de distancia y unidad de Demanda.

Variables de Decisión

X_k : 1, Si el nodo K es Hub.
o, en otro caso.

Y_{ik} : 1, Si el nodo i conecta al nodo Hub localizado en K .
o, en otro caso.

Función Objetivo

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^n H_{ij} (\alpha d_{ik} + \beta d_{kl} + \gamma d_{lj}) Y_{ik} Y_{jl} \quad (6)$$

Restricciones

Numero de Hub

$$\sum_{k=1}^n X_k = h \quad (7)$$

Conexión con Hub

$$\sum_{k=1}^n Y_{ik} = 1, \forall i = 1, \dots, n. \quad (8)$$

Conexión Única

$$Y_{ik} \leq X_k, \forall i = 1, \dots, n. \forall j = 1, \dots, n. \quad (9)$$

Variables Binarias

$$X_k \in \{0, 1\}, \forall k = 1, \dots, n \quad (10)$$

$$Y_{ik} \in \{0, 1\}, \forall i = 1, \dots, n. \forall k = 1, \dots, n.$$

El modelo de hub and spoke, luego de ingresar el número mínimo de hub (cluster head) que satisfacen las restricciones de la Red antes impuestas, nos da como resultado la cantidad de clusters, su interconexión y la cantidad de nodos que componen cada uno. Quedando de esta forma establecida la topología de trabajo.

4 PROGRAMACIÓN

Modelo En Lingo

El algoritmo secuencial se implementa sobre el software Lingo, versión 10.0. Se usa como datos de simulación y calculo, los contenidos en las matrices Distan, DDA y la Distancia de cobertura DC.

Para relajar el problema se asumen las variables de costo α , β , γ y f asociados a los dos modelos matemáticos a utilizar, con el valor 1.

- ▶ ANDRÉS F. SOTO P.
- ▶ PATRICIO OLAVARRIETA S.
- ▶ LUCIO CAÑETE A.
- ▶ CARLOS ÁLVAREZ G.

La matriz Distan (figura 7) contiene la distancia existente entre cada nodo de la IWSN, para efectos de cálculo se asume una diagonal con un valor a lo sumo 10 veces el mayor número, con esto se evitara la elección de sí mismo como una distancia optima y a su vez se evitaran los cluster aislados e incommunicados con el resto de la red.

Matriz Distan

Distan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1000	31	3	85	26	62	23	89	28	73	30	42	89	55	68
2	31	1000	75	10	48	94	3	72	98	56	41	67	79	3	30
3	3	75	1000	43	6	86	64	63	93	89	42	28	40	44	81
4	85	10	43	1000	89	15	51	17	21	57	52	66	80	80	95
5	26	48	6	89	1000	26	26	61	69	4	49	0	61	85	92
6	62	94	86	15	26	1000	95	95	63	60	36	21	24	54	32
7	23	3	64	51	26	95	1000	56	83	69	15	81	29	82	64
8	89	72	63	17	61	95	56	1000	83	78	83	90	76	79	21
9	28	98	93	21	69	63	83	83	1000	88	95	54	21	28	18
10	73	56	89	57	4	60	69	78	88	1000	58	31	41	22	27
11	30	41	42	52	49	36	15	83	95	58	1000	28	39	87	92
12	42	67	28	66	0	21	81	90	54	31	28	1000	31	3	40
13	89	79	40	80	61	24	29	76	21	41	39	31	1000	6	9
14	55	3	44	80	85	54	82	79	28	22	87	3	6	1000	5
15	68	30	81	95	92	32	64	21	18	27	92	40	9	5	1000

Figura 7: Matriz de distancias entre nodos.

La matriz DDA (figura 8) contiene la demanda existente entra cada nodo (flujo a intercambiar entre nodos).

Matriz DDA

DDA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	31	3	85	26	62	23	89	28	73	30	42	89	55	68
2	68	0	75	10	48	94	3	72	98	56	41	67	79	3	30
3	86	82	0	43	6	86	64	63	93	89	42	28	40	44	81
4	62	72	40	0	89	15	51	17	21	57	52	66	80	80	95
5	52	4	30	48	0	26	26	61	69	4	49	0	61	85	92
6	17	25	77	25	96	0	95	95	63	60	36	21	24	54	32
7	49	69	43	67	71	40	0	56	83	69	15	81	29	82	64
8	43	55	50	80	7	5	82	0	83	78	83	90	76	79	21
9	51	66	5	82	62	28	75	71	0	88	95	54	21	28	18
10	82	81	96	52	9	97	13	93	14	0	58	31	41	22	27
11	81	77	78	9	36	26	86	61	74	81	0	28	39	87	92
12	59	51	87	90	64	78	28	23	88	75	8	0	31	3	40
13	16	86	32	70	62	80	6	69	5	85	67	86	0	6	9
14	72	36	90	96	28	86	57	87	15	75	10	9	8	0	5
15	89	21	75	13	84	80	34	57	23	98	8	75	97	50	0

Figura 8: matriz de demanda entre nodos.

A continuación se presenta el código en lenguaje Lingo, utilizado para:

Set Covering:

SETS:

nodos/1..5/:c,H;

rutas(nodos,nodos):distan;

ENDSETS

DATA:

distan=@ole('C:\lingo\15 nodos.xls');

DC = ?;

ENDDATA

!Función Objetivo;

min=@SUM(nodos(i):H(i));

!Restricciones;

@for(nodos(j):@SUM(nodos(i)|distan(i,j)#le#dc:H(i))=1);

@for(nodos: @bin(H));

data:

@ole('C:\lingo\15 nodos set.xls')=H;

enddata

Hub and Spoke:

SETS:

nodos/1..15/:Hub;

rutas(nodos,nodos):distan,DDA,conec;

ENDSETS

DATA:

distan=@ole('C:\Lingo\15 nodos.xls');!Base de datos Excel, debe estar en C;

DDA=@ole('C:\Lingo\15 nodos.xls');!Base de datos Excel, debe estar en C;

Alfa=1;

Beta=1;

Gama=1;

H=?;

ENDDATA

!Función Objetivo;

min=@SUM(nodos(i):@sum(nodos(k):@sum(nodos(l):@sum(nodos(j):dda(i,j)*(Alfa*distan(i,k)+Beta*distan(k,l)+Gama*distan(l,j))*conec(i,k)*conec(j,l)))));

!Restricciones;

@SUM(nodos: hub)=H;

@for(nodos(i):@sum(Nodos(j):conec(i,j))=1);

@for(nodos(i):@for(Nodos(j):conec(i,j) <= Hub(j)));

@for(nodos: @bin(hub));

@for(rutas: @bin(conec));

5 RESULTADOS

Se procedió a evaluar la matriz DDA, Distan y la distancia de cobertura DC en el algoritmo secuencial, tomando los casos de 5, 10 y 15 nodos de un universo total de 15 nodos distribuidos. Una muestra representativa de las combinaciones sin repetir de 5, 10 y 15 nodos del total distribuido, generaron como resultado los siguientes casos, ver tabla 2:

Caso	%Pruebas Con solución	%Pruebas No hay solución
Nodos=5 DC=23 mt	70%	30%
Nodos=10 DC=23 mt	85%	15%
Nodos=15 DC=23 mt	100 %	0%

Tabla 2: Resultado de aciertos y fracasos al aplicar el algoritmo secuencial

Se ve en la tabla 2 el porcentaje en el cual el algoritmo secuencial encontró solución y pudo conformar la topología de cluster según los requerimientos impuestos.

En las siguientes figuras (8) (9) (10) se plasma una muestra representativa de las topologías, distribuciones de nodos y número óptimo de hubs, que encontró como solución el algoritmo para los tres casos analizados. En ellas se ilustra el número mínimo de cluster y los nodos elegidos como cluster-head para la administración y comunicación que satisfacen los requerimientos.

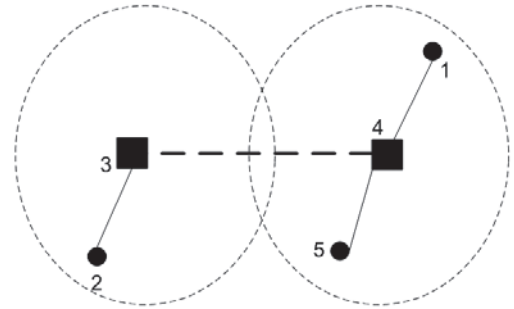


Figura 9: Distribución de Clusters y ClusterHeads en 5 nodos, eligiendo 2 hubs.

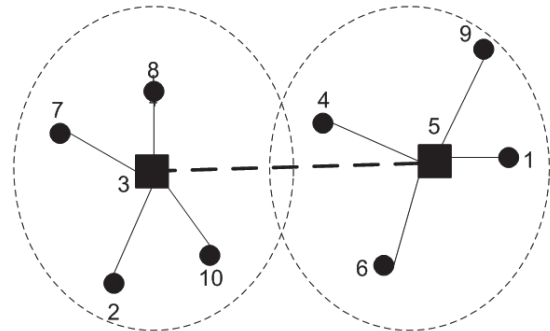


Figura 10: Distribución de Clusters y ClusterHeads en 10 nodos, eligiendo 2 hubs

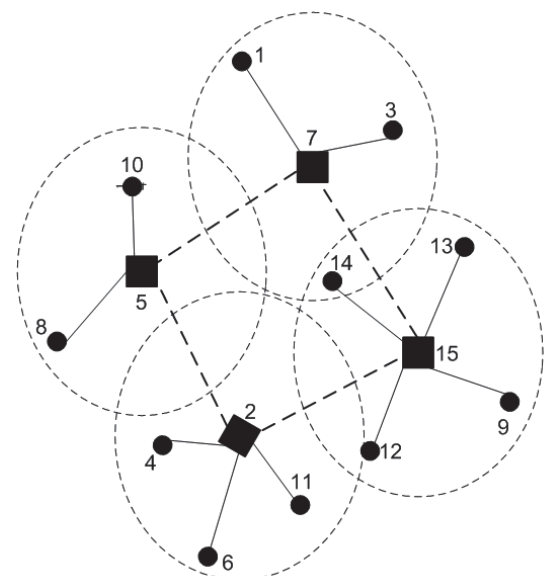


Figura 11: Distribución de Clusters y ClusterHeads en 15 nodos, eligiendo 4 hubs

6 CONCLUSIONES

Las IWSN ofrecen una solución a los nuevos desafíos que presentan los procesos de manufactura, respecto del dinamismo y flexibilidad que demandan. Sin embargo, aún existen múltiples problemas a resolver, de acuerdo al análisis del estado del arte efectuado.

Las IWSN abren un ilimitado número de aplicaciones las cuales dependen del desarrollo de sistemas totalmente confiables y dinámicos.

Existen otras líneas de investigación que no han sido considerados en este trabajo, como por ejemplo: Aspectos de codificación de la fuente para otorgar mayor robustez a la información frente al canal de comunicación, Control de la privacidad, integridad y autenticidad mediante la encriptación en IWSN.

La aplicación de esta optimización, entrega un resultado óptimo solo para redes inalámbricas estáticas.

La solución que presenta esta optimización es una topología estrella con el Cluster-Head como nodo central en el 100% de las simulaciones. En base a esta propiedad se disminuye el número de saltos entre los nodos que conforman el Cluster de trabajo y su Cluster-Head.

Con la aplicación del algoritmo secuencial, se evitan la conformación de islas y nodos escondidos e incomunicados, de esta forma se pueden mejorar el indicador MTTF y de Rendimiento de la Red.

En conclusión la clave de éxito es la confiabilidad y transmisión segura de las comunicaciones en un ambiente industrial con sus perturbaciones asociados.

El número de Hubs para la cobertura están directamente relacionadas con la potencia de transmisión y recepción de los nodos, por ende el porcentaje de solución no encontrada se debe a que la distancia crítica de cobertura estimada de los nodos no cubría la red, incluso si todos fuesen Hubs, debido a la distancia existentes entre cada nodos, por ende el algoritmo no pasa a la segunda etapa que es conformar la topología.

Si un nodo es ingresado a la red, se tendrá que hacer correr el algoritmo nuevamente para ver si es Hub (Cluster-Head) o si es asignado a un cluster.

Trabajos Futuros

Como trabajos futuros, las siguientes temáticas serán consideradas:

- Implementar un algoritmo evolutivo para una topología móvil y dinámica, apoyándose en base de las arquitecturas cognitivas para determinar una nueva optimización y analizar la performance de la red.
- Analizar los retardos y sus efectos sobre un sistema de control en red inalámbrica.
- Optimizar los requerimientos computacionales que exige el algoritmo.
- Computar matrices de mayor tamaño y agregar restricciones de variables ambientales de trabajo.

REFERENCIAS

1. Khakpour, K. Shenassa, M.H. "Industrial Control using Wireless Sensor Networks". ICTTA 2008. 3rd International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, 2008. Publication Date: 7-11 April 2008, On page(s): 1 – 5.
2. Chen B., Jamieson K., Balakrishnan H., andx Morris H. "Span: an energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks". Proceedings of the 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom2001), Rome, Italy, July 2001.
3. Chen D., Nixon M., Aneweer T., Shepard R., and Mok A. K. "Middleware for Wireless Process Control Systems". Workshop: Architectures for Cooperative Embedded Real-Time Systems. December 5-8, 2004, Lisbon, Portugal

4. Shenassa M.H., Khakpour K., "Loom Data Monitoring Using Wireless Technology", IEEE Conference on Information & Communication Technologies, ICTTA April 24 - 28, 2006, Volume: 2, Page(s): 2704- 2708.
5. Intanagonwiwat C., Govindan R. and Estrin D. "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks". The 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networks (MobiCom 2000), Boston, MA, August 2000.
6. Abd-El-Barr M.I., Youssef M.A.M., Al-Otaibi M.M. "Wireless sensor networks - part I: topology and design issues". Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2005. Publication Date: 1-4 May 2005. On page(s): 1165-1168.
7. Perrig A., Szewczyk R., Wen V., Culler D., and Tygar J. D. "SPINS: Security Protocols for Sensor Networks". Mobile Computing and Networking, 2001.
8. Flammini A., Ferrari P., Marioli D., Sisinni E., Taroni A. "Sensor networks for industrial applications". Advances in Sensors and Interface, 2007. IWASI 2007. 2nd International Workshop on 26-27 June 2007 Page(s):1 – 15.
9. Xavier Carcelle; Tuan Dang; Devic, C. "Industrial Wireless Technologies: applications for the electrical utilities". 2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics, Publication Date: 16-18 Aug. 2006, Page(s):108 – 113.
10. Blumenthal J., Grossmann R., Golatowski F., Timmermann D. "Weighted Centroid Localization in Zigbee-based Sensor Networks". IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, 2007. WISP 2007. Publication Date: 3-5 Oct. 2007. On page(s): 1 – 6.
11. Yong Ma, Aylor, J.H. "System lifetime optimization for heterogeneous sensor networks with a hub-spoke technology". IEEE Transactions on Mobile Computing. Publication Date: July-Aug. 2004. Volume: 3, Issue: 3. On page(s): 286- 294.
12. Masoum A., Jahangir A.-H., Taghikhaki, Z. "Survivability modeling of wireless sensor networks". ISWCS '08. IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems. 2008. Publication Date: 21-24 Oct. 2008. On page(s): 593-597.
13. Wang Xue-qing, Zhang Shu-qin. "Research on Efficient Coverage Problem of Node in Wireless Sensor Networks". 2009 International Conference on Industrial Mechatronics and Automation. Publication Date: 15-16 May 2009. On page(s):9 – 13.
14. Cardei M., Thai M.T., Yingshu Li, Weili Wu. "Energy-Efficient Target Coverage in Wireless Sensor Networks". Proceedings IEEE INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Publication Date: 13-17 March 2005. Volume: 3. On page(s): 1976- 1984.
15. ZigBee and IEEE 802.15.4: A brief introduction Geir. E. Oien, NTNU, 2006.
16. ARC Strategies, www.ARCweb.com/
17. Foundation Fieldbus standard, <http://www.Fieldbus.org/>
18. Profibus standard, <http://www.profibus.org/>
19. WINA, <http://www.wina.org/>
20. ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org/>