

Optimal Placement of Universal Data Aggregation Points for Smart Electric Metering based on Hybrid Wireless

Miguel Campaña
Ingeniería Eléctrica
Quito - Ecuador,
mcampana@ups.edu.ec

Esteban Inga
Ingeniería Eléctrica
Quito - Ecuador,
einga@ups.edu.ec

Roberto Hincapié
Ingeniería en Telecomunicaciones
Medellín - Colombia
roberto.hincapie@upb.edu.co

Abstract

The Smart Electric Metering (SEM), seeks to supply quality services without neglecting the reliability of the system. Therefore, a quality service must be closely linked to the wireless communication technologies, to technify the SEM, not only the read, but also cuts, reconnections, and another additional services that the infrastructure of intelligent measurement provides through wireless technologies, such as Cellular or WiFi. This article proposes a quasi-optimal planning and deployment model of smart meter (SM) for SEM in order to guarantee reliable wireless links communication at the lowest implementation cost. The proposed algorithm gives global solutions within a finite scenario, making it a scalable model in time capable of managing the use of available links.

Keywords: smart electric metering, hybrid wireless networks, universal data aggregation point, optimization, smart grid

1 Introducción

La en la actualidad, se busca implementar nuevos conceptos de redes eléctricas inteligentes, aplicables al sistema eléctrico tradicional. El presente trabajo plantea resolver el problema combinatorio que en ciertos trabajos se han definido como NP-Complete [IOPSH+16]; de esta manera, presentamos una opción heurística para lograr un despliegue cuasi-óptimo de medidores inteligentes (MI). La información obtenida de cada MI se transmitirá mediante saltos, en caso de ser necesario, con una topología de enrutamiento basada en

árboles, de tal manera que, ayude a mejorar la velocidad de transmisión [IH16] introduciendo de esta manera el concepto de [GIKK11], que es una operación fundamental en redes inalámbricas.

Para la construcción de los conglomerados nos basaremos en el algoritmo de PRIM. Otros trabajos han presentado métodos para resolver este tipo de problemas basados en una previa clusterización articulados con árboles de mínima expansión según se presenta en [ICHA17]. Posteriormente, para el enrutamiento, se utiliza el algoritmo de Dijkstra.

Para validar nuestro modelo se ejecuta varias simulaciones basándose en los parámetros de medición inteligente [IIO+17].

En adelante este artículo se organiza de la siguiente manera. En la sección II se introduce los requisitos fundamentales de redes híbridas para medición inteligente de energía eléctrica. En la sección III se plantea la formulación del problema. En la sección IV se realiza el despliegue cuasi-óptimo de MIs. Finalmente, en la sección V concluimos nuestro artículo.

2 Redes Inalámbricas Híbridas para Medición Inteligente

Para el despliegue de redes inalámbricas se debe considerar aspectos como: enrutamiento fiable, ubicación segura y agregación segura de datos. Las redes inalámbricas están constituidas a partir de dos elementos básicos: muchos MIs y uno o varios puntos de agregación de datos (PADs) [NDL14] y forman una red dentro de una área de cobertura [IOPSH+16]. Los MIs capturan información de parámetros eléctricos, tales como: potencia reactiva y consumo para proyectar la respuesta a la demanda y, transmiten los datos hacia los PADs para que ellos se encarguen de retransmitir la información hacia las estaciones base (EB) más cercanas y finalmente las EBs se encargarán de reenviarlos a los centros de control [IIO+17]. Por lo tanto, los

algoritmos de planeación, despliegue y enrutamiento juegan un papel muy importante en redes inalámbricas.

En nuestro método las agrupaciones se organizan en racimos. La característica fundamental de un PAD, radica en poseer doble tarjeta incorporada en el MI, es decir, un PAD es un MI con doble tarjeta de acceso inalámbrico (WiFi y Celular), diferenciándose así de un MI simple, que únicamente dispone de una sola tarjeta de acceso inalámbrico WiFi, pero con disponibilidad de dos slots. Por lo tanto, los PADs son capaces de recibir la información proveniente de los MIs mediante tecnología WiFi y reenviar los datos mediante tecnología celular.

3 Formulación del Problema

Existe n números de MIs para medición de energía eléctrica distribuidos aleatoriamente en un área A , $A(n)$. Al formar agrupaciones, se selecciona un PAD Z . Cada conglomerado tiene una capacidad de agrupar hasta m MIs. Suponemos que el rango máximo de transmisión bidireccional de los MIs hacia los PADs es r_{ds} , y desde los PADs hacia las EBs es de r_{db} . Es decir, cualquier pareja de nodos cuya distancia euclidiana r_{ni} y r_{ns} este dentro de r_{ds} y r_{db} respectivamente, pueden comunicarse entre sí. Los MIs X y PADs Z que no alcancen la distancia euclidiana máxima permitida a un solo salto h , lo harán mediante múltiples saltos.

Inicialmente, todos los MIs se comunican mediante tecnología celular hacia las EBs con un costo C_1 . Una vez identificado los conglomerados se eliminan los enlaces celular y se adiciona enlaces WiFi para establecer la comunicación intra-clúster a un costo C_2 . Además se advierte que, $C_1 \gg C_2$.

A continuación, en las ecuaciones (1 y 2) se expresan los costos totales de cada tecnología (WiFi y Celular).

$$C_{wf} = C_2 * \sum_{j=1}^k (s_j - 1) \quad (1)$$

$$C_{cell} = C_1 * k \quad (2)$$

De esta manera, el problema de optimización puede ser expresado de la siguiente manera.

$$\min C_{wf} + C_{cell} \quad (3)$$

Sujeto a:

$$C_i \in \mathbb{R}^+, \forall i = 1, 2 \quad (4)$$

$$\sum_{s,k \in n} (s - 1) + k = n, \forall sk \in n; \forall n \in A(n) \quad (5)$$

$$\sum_{MI \in A(n)} MI = Z_{i,j}, \forall Z \in A(n) \quad (6)$$

$$\sum_{MI \in A(n)} MI = X_{i,j}, \forall X \in A(n) \quad (7)$$

$$\sum_{s \in S} S \leq m, \forall S \in A(n); \forall m > 1 \quad (8)$$

$$X_{i,j} = \sum_{r_{ni,j} \in r_{ds}} r_{ni} \leq r_{ds}, \forall X \in A(n) \quad (9)$$

$$Z_{i,j} = \sum_{r_{ns,i,j} \in r_{db}} r_{ns} \leq r_{db}, \forall Z \in A(n) \quad (10)$$

La ecuación (3) corresponde a la función objetivo, que consiste en minimizar los costos empleando redes inalámbricas híbridas. La ecuación (4) afirma que necesariamente existe dos tipos de costos. En la ecuación (5) presenta una restricción de verificación, en la que debe cumplirse que, la suma de enlaces mediante tecnología WiFi y la suma de enlaces con tecnología celular no supere el número total de medidores inteligentes desplegados en el área, de esta manera se garantiza que no exista bucles o loops.

Las ecuaciones (6) y (7) habilita a que cualquier MI del escenario sea un PAD. La restricción de capacidad, de la ecuación (8), limita el número de MIs intra-clúster. En las ecuaciones (9) y (10) se da lugar a la existencia de los diferentes enlaces (Celular o WiFi), que formaran parte de la red.

Basándose en el Algoritmo de PRIM, que se ha modificado para los fines de la investigación, se construye los conglomerados considerando las restricciones de distancias máximas permitidas. En el algoritmo 1 se da solución al despliegue de MIs mediante redes heterogéneas.

4 Análisis de Resultados

Las restricciones ensayadas en el algoritmo son los siguientes: distancias máximas Celular y WiFi 1.5 y 0.5 respectivamente, ubicación de las EBs [0,75 1,5] [2,25 1,5], número de exploraciones 100, capacidad máxima de MIs de cada agrupación 23 y la densidad de MIs es 512.

El criterio de arranque para dar lugar a la formación de los conglomerados es a partir de distancias entre MIs. El objetivo es generar diferentes escenarios, partiendo de distintas distancias tomadas en cada iteración.

Algoritmo 1 Despliegue de Medidores Inteligentes

Paso: 1 $r_{db}, r_{ds}, x_s, y_s, EB_x, EB_y, G,$
encuesta $\leftarrow usados.$

Paso: 2 $x = [x_s EB_x], y = [y_s EB_y]$

Paso: 3 *Calcular:* $dist_{i,j}$

Paso: 4 Algoritmo de PRIM-Modificado.
return: tmp

Paso: 5 nivel inferior
while encuesta $\leq n$ *do*
 if indice $\neq 1$
 indice(tmp) = 1
 encuesta = sum(sum(indice))
 endif
 for $k \rightarrow length(tmp)$
 for $j \rightarrow length(tmp)$
 Dijkstra intra-clúter
 $G(tmp(k), tmp(j)) = 1$
 $G(tmp(j), tmp(k)) = 1$
 endfor
 endfor
endwhile

Paso: 6 Selección PAD

Paso: 7 Dijkstra PAD

for $i \rightarrow 1 : length(PAD)$
 $G(i, EB) = 1, G(EB, i) = 1.$
 if $rns > r_{db}$
 $G(i, EB) = 0, G(EB, i) = 0.$
 endif
endfor.

En la Figura 1 se ubican los MIs, PADs y las EBs representados con circunferencias de color azul, verde y triángulos amarillos respectivamente.

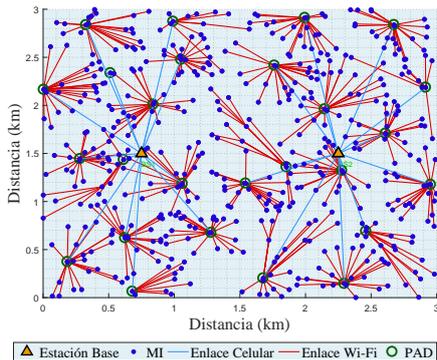


Figure 1: Despliegue cuasi-óptimo de MIs para sistemas de medición eléctrica inteligente Fuente: Autor

Los MIs se enlazan a los PADs con tecnología WiFi representado de color rojo y los PADs se enlazan a

las EB mediante tecnología celular representado de color celeste. Por lo tanto, en la Figura 1 se ilustra la topología tipo árbol cuasi-óptima para el despliegue de MIs al menor costo garantizando cobertura al 100%.

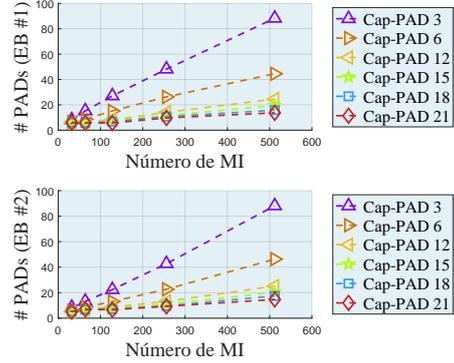


Figure 2: Número de PADs requeridos en diferentes poblaciones por cada EB. Fuente: Autor

En la Figura 2, cuando la capacidad de un PAD de albergar MIs es mínima y la población aumenta, la necesidad de agregar PADs se torna indispensable para garantizar de cobertura a los MIs. Por otro lado, cuando el PAD tiene mucha capacidad disponible, la necesidad de PADs disminuye considerablemente en relación a un PAD con capacidades mínimas. Por lo tanto, a mayor capacidad disponible en los PADs y a mayor número de MIs desplegados, se puede reducir al máximo el uso de tecnología celular, la cual es muy costosa, y esto responde únicamente a que, dentro de una red vecindaria se dispone de conglomerados claramente definidos evitando la dispersión que a la larga se traduce en pérdidas.

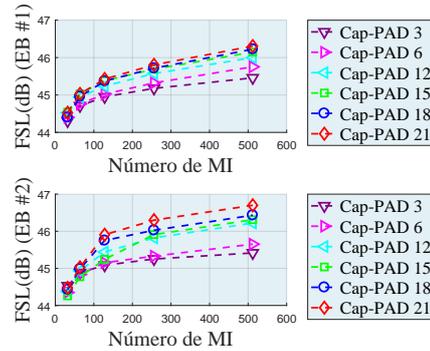


Figure 3: Pérdidas en el Espacio Libre Computados a una frecuencia de 5GHz . Fuente: Autor

Cuando el escenario tiene pocos PADs el promedio de las pérdidas por propagación en el espacio libre (FSL) es menor, pero cuando la población de PADs aumenta el promedio de FSL aumenta. Por lo tanto, en la Figura 3 se expresa que, a medida que los MIs

considerados como PADs se acercan a la EB, el promedio de FSL disminuyen, y por el contrario, cuando los PADs se alejan de la EB las pérdidas FSL aumentan. Otra información importante que se obtiene de la Figura 3 es que el FSL no depende de la capacidad de los PADs, sino que depende de las distancias y la frecuencia del espectro radioeléctrico, que para el caso del cálculo de FSL se lo hace con una frecuencia de 5 GHz.

Se realizó varios ensayos para poder determinar porcentajes máximos a los que se puede reducir el uso de tecnología celular para minimizar costos de la IMA de energía eléctrica. En la Figura 4, se ensayó con diferentes densidades de MIs. La iteración 0 representa el punto inicial del problema, partiendo del supuesto que todos los MIs pueden ser DAPs, situación muy costosa. A medida que el algoritmo encuentra soluciones cuasi-óptimas la necesidad de emplear DAPs va disminuyendo. Además, se puede apreciar que, a medida que la densidad de MIs es menor, menor es el porcentaje posible para reducir costos. Por lo tanto, el algoritmo siempre logra reducir los costos de implementación de una IMA de energía eléctrica observando criterios de capacidad y cobertura.

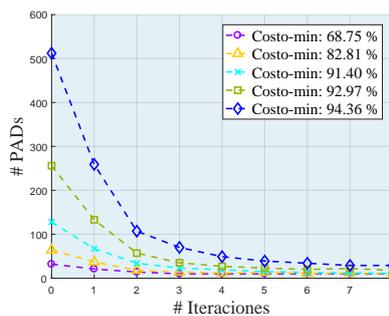


Figure 4: Porcentajes máximos de reducción de uso de tecnología celular logrado por el algoritmo con diferentes poblaciones de MIs. Fuente: Autor

5 Conclusiones

El algoritmo planteado permite desplegar el número necesario de PADs para medición de energía eléctrica proporcionando de cobertura a un número n de MIs. Una característica fundamental del modelo propuesto es que se adapta a las condiciones de la red inalámbrica requerida para medición inteligente de energía eléctrica. Al modificar los clústeres el algoritmo modifica la topología y almacena las matrices de conectividad para presentar al final la solución cuasi-óptima fruto de varias exploraciones. La simulación del algoritmo ha permitido analizar el uso de tecnología requerida en la infraestructura híbrida propuesta, logrando con ello determinar la mínima cantidad de PADs a emplearse,

lo que nos lleva a requerir al mínimo, la tecnología celular que es la mas costosa. Además, el modelo admite parámetros reales tales como: capacidad y cobertura. En futuros trabajos se presentará una heurística con diferentes criterios de clusterización y la inclusión de flujos de información para evaluar cada enlace considerando un multígrafo.

Referencias

- [GIKK11] Amitabha Ghosh, Özlem Durmaz Incel, V. S. Anil Kumar, and Bhaskar Krishnamachari. Multichannel Scheduling and Spanning Trees: Throughput Delay Tradeoff for Fast Data Collection in Sensor Networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 19(6):1731–1744, 2011.
- [ICHA17] Esteban Inga, Sandra Céspedes, Roberto Hincapié, and Cesar Andy. Scalable Route Map for Advanced Metering Infrastructure Based on Optimal Routing of Wireless Heterogeneous Networks. 24(April):1–227, 2017.
- [IH16] Esteban Inga and Roberto Hincapie. Matched Channel Allocation for Advanced Metering Infrastructure based on Cognitive Mobile Virtual Network Operator. *IEEE Latin America Transactions*, 14(4):1780–1785, 2016.
- [IIO⁺17] Juan Inga, Esteban Inga, Andres Ortega, Roberto Hincapié, and Cristina Gómez. Optimal Planning for Deployment of FiWi Networks based on Hybrid Heuristic Process. *IEEE Latin America Transactions*, 15(9):1684–1690, 2017.
- [IOPSH⁺16] Esteban Inga-Ortega, Arturo Peralta-Sevilla, Roberto Carlos Hincapie, Ferney Amaya, and Idelfonso Tafur Monroy. Optimal dimensioning of FiWi networks over advanced metering infrastructure for the smart grid. *2015 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America, ISGT LATAM 2015*, pages 30–35, 2016.
- [NDL14] Tamil Nadu, C Deepa, and B Latha. HHCS : Hybrid Hierarchical Cluster Based Secure routing protocol for wireless sensor networks. *International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES)*, (978):0–5, 2014.