

MARCO TEÓRICO

Casallas - Espinel - Rodríguez

Contents

1	MARCO TEORICO	1
1.1	Brecha Digital	1
1.2	Redes Libres comunitarias	2
1.3	Planeación de Redes Inalámbricas	2
1.3.1	Factores clave de planeación	2
1.4	Algoritmos utilizados en la planeación	3
1.5	Representación de topología	5
1.6	Python y Networkx	5
	ESTADO DEL ARTE	5
1.7	Redes móviles UMTS	5
1.8	Planeación de Celda	5
1.8.1	Subproblema de celdas o localización de estación base	5
1.8.2	IEEE 802.16	8
1.9	Redes de área Local (LAN)	8
1.10	Redes BWA en zonas Rurales	8
1.10.1	IEEE 802.11	8
1.10.2	Consideraciones de diseño y enfoque de solución para las variables . . .	10
1.11	Herramienta IncrEase	12
1.11.1	Modo de operación herramienta IncrEase	12
1.11.2	Construcción de redes	13
1.11.3	Topología	13
1.11.4	Costo de las torres	13
	Bibliografía	13

1 MARCO TEORICO

1.1 Brecha Digital

En el año 1995 eclosionan para la población dos tecnologías totalmente disruptivas, el internet y la telefonía móvil, ellas sugieren una nueva revolución, la llamada revolución digital, que

a su vez crea la sociedad de la información(S.I), dando inicio al planteamiento sobre cómo medir y modelizar la S.I, el nivel de desarrollo digital y el impacto del desarrollo digital en el ser humano.

El acceso a Internet a través de las tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) ha tenido un auge exponencial en los últimos años, sin embargo, este avance solo se ha presentado de manera significativa en países desarrollados y zonas metropolitanas de países en desarrollo [sen], es por esto, que existen comunidades con poco o ningún acceso a las TIC y otras con acceso casi universal a telefonía fija, móvil e Internet de banda ancha, es así que resulta el concepto de Brecha Digital [maseratti].

En relación con lo anterior, las poblaciones sin acceso a las TIC por lo general poseen, un bajo nivel socioeconómico, viven en zonas de difícil acceso con condiciones climatológicas desfavorables e incluso con ineficiencia o inexistencia de redes eléctricas, al mismo tiempo, las personas que viven en áreas rurales sufren el efecto de la brecha digital incluso más fuerte que los habitantes urbanos, debido a que no pueden acceder a servicios como el aprendizaje a distancia, la salud y el comercio electrónico [Bernardi]. Una alternativa para disminuir el margen de diferencia entre países con acceso a las TIC son las Redes Libres comunitarias (RLC), entendidas no solo como redes de computadores sino como redes comunitarias implementadas en poblaciones vulnerables donde el acceso a la información es una posibilidad y no una realidad [Gordillo, 2013].(Amaldi 2003)

1.2 Redes Libres comunitarias

1.3 Planeación de Redes Inalámbricas

Con el objetivo de reducir la brecha digital, autores [Bernardi, maseratti, sen] han propuesto como solución la planeación y despliegue de redes de banda ancha inalámbrica en zonas rurales.

Para ello es necesario hablar de conectividad, siendo un factor clave que hace alusión a la disponibilidad que tiene un dispositivo para conectarse a otro o conectarse a una red, es por eso, que cerrar esta brecha requiere proporcionar conectividad a Internet en todos los pueblos.

La planeación de redes inalámbricas es un área muy activa por la comunidad científica, sin embargo el foco de las investigaciones son las redes de banda ancha móvil y las redes de área local inalámbrica.

1.3.1 Factores clave de planeación

A continuación se detallan factores innatos claves de la planeación de redes inalámbricas.

- Costos de despliegue:
- Costos de implementación:
- Expansión de la red: Crecimiento de la red, abarcando más territorio

- Cobertura de la red: En zonas rurales prevalece mantener la cobertura de servicios de internet en diferentes lugares sobre la capacidad.
- Capacidad de la red: Ancho de banda requerido para la transferencia de datos
- Retorno de la inversión: Referente para pequeños proveedores de internet inalámbrico (WISP)
- Sector económico y social de la población rural: Delimitantes socioeconómicos del poder adquisitivo de los habitantes

1.4 Algoritmos utilizados en la planeación

Aunque existen estructuras de algoritmos para solucionar problemáticas en la planeación incremental de redes inalámbricas [Whitaker] proporciona información acerca de los enfoques propuestos para el diseño de redes, que muestran la evolución de modelos y técnicas para la planificación automática de servicios inalámbricos celulares, cabe resaltar que la documentación existente hace énfasis en redes móviles, sin embargo, este concepto es aplicable para el despliegue de redes inalámbricas rurales. Dicho lo anterior, whitaker facilita la descripción de diferentes clases de algoritmos que se pueden usar para realizar la planeación automática de redes inalámbricas.

- **Algoritmos codiciosos** Codiciosos (o secuenciales) los algoritmos simplemente ponen en marcha y configuran los transmisores de la mejor manera posible en algún orden, sin que sea posible la reconfiguración o la puesta en marcha. Estos enfoques se utilizan para generar una red inicial y tener un mayor desarrollo. Un problema crucial se relaciona con la forma en que se ordenan los sitios candidatos y las configuraciones antes de aplicar el algoritmo. Tales métodos, por ejemplo, han sido investigados por problemas relacionados con la gráfica y la asignación de frecuencia en [11, 12].
- **Algoritmos exactos** Existe una variedad de algoritmos que son capaces de buscar una solución exacta a un problema. Estos enfoques deben probar todas las combinaciones posibles de diseños de red potenciales y, con frecuencia, operar rechazando soluciones que contengan redes o redes parciales no deseables. Los algoritmos que operan sobre esta base incluyen el seguimiento y la verificación hacia adelante. Sin embargo, debido a la naturaleza difícil del problema, los algoritmos de este tipo solo pueden ejecutarse hasta el agotamiento en pequeños problemas de prueba. En consecuencia, se pueden relajar con una terminación temprana o usarse para explorar selectivamente regiones limitadas desde el espacio de búsqueda de todos los diseños de red posibles, como en [32, 33, 34, 44].
- **Algoritmos genéticos (GA)** Estos algoritmos imitan algunos de los procesos de evolución y selección natural al mantener una población de soluciones candidatas que están representadas por una cadena de genes (con frecuencia binarios). Con el tiempo, la población evoluciona a través de procesos que emulan procesos biológicos como la reproducción. Los miembros de la población se combinan para producir descendientes. Introducido por Holanda [21], el concepto básico es que los fuertes tienden a adaptarse y sobrevivir, mientras que los débiles tienden a desaparecer. Los artículos [29, 28, 19, 22, 13] muestran enfoques para la planificación celular utilizando GA.

- **Annealing Simulado (SA)** Annealing simulado (SA) es una meta-heurística derivada de la mecánica estadística. El método opera utilizando el principio de vecindad y mide soluciones potenciales usando una función de costo. Permite que la búsqueda continúe con la función de costo, lo que reduce la mayor parte del tiempo (suponiendo una minimización), pero la función de costo puede aumentar ocasionalmente para permitir el escape de mínimos locales que no son globales. Las posibilidades de aceptar una solución peor están controladas por un parámetro en el algoritmo. El procedimiento de recocido simulado de Kirkpatrick et al. [27] varía este parámetro utilizando un programa de recocido que generalmente reduce la posibilidad de escapar de los mínimos locales con el tiempo. Para un tratamiento detallado del recocido simulado, se hace referencia al lector [2]. Los enfoques para la planificación celular en [4, 10, 31, 6, 23]
- **Tabu Search (TS)** La técnica meta-heurística (TS) de búsqueda de tabúes opera utilizando el principio de vecindad como para escalar colinas. Sin embargo, en un intento por evitar los ciclos y proporcionar un mecanismo para escapar de soluciones óptimas pero no globales, algunos movimientos, en una iteración particular, pueden clasificarse como tabú o tabú. Los movimientos se clasifican como tabú al considerar el historial a corto y largo plazo de la secuencia de movimientos. También hay criterios de aspiración que anulan los movimientos de tabú si se aplican circunstancias particulares.
- **Algoritmos de adaptación para diseño de red automático** El diseño automático de la red se puede realizar para poner en marcha los transmisores de varias maneras. El software puede estar diseñado para comisionar un número exacto o un número máximo fijo de transmisores, o puede tener total libertad. Estos objetivos pueden afectar significativamente la forma en que se aborda el problema y se diseña el algoritmo. Adicionalmente la aplicación de algoritmos debe tener en cuenta resolver conflictos y tensiones. Con respecto a la puesta en marcha de los transmisores, los transmisores de alta potencia y poco distribuidos pueden proporcionar una cobertura adecuada al tiempo que minimizan los costos pero puede proporcionar una capacidad de red inadecuada. Además, las regiones de entrega pueden ser difíciles de establecer sin instanciar las regiones de interferencia en este escenario. Definir los objetivos operativos deseados debe ser considerado. El gasto computacional y de infraestructura para proporcionar el último porcentaje de la cobertura máxima posible o la utilización del tráfico puede ser significativo. A nivel de configuración de infraestructura, la inclinación, el acimut, la configuración de potencia máxima y la elección de la antena y la sectorización están disponibles para sintonizar en sitios comisionados si el algoritmo no se limita a elegir transmisores preconfigurados. Es importante destacar que estos parámetros son cruciales para el dimensionamiento de la celda, es decir, un ajuste fino para proporcionar un traspaso y una interferencia máxima adecuada. Tenga en cuenta que estos objetivos pueden ser difíciles de satisfacer si solo se especifican instancias limitadas de preconfiguración en los sitios potenciales.

1.5 Representación de topología

1.6 Python y Networkx

ESTADO DEL ARTE

1.7 Redes móviles UMTS

En [Hitlarie2008], se presenta una literatura detallada de los problemas que se presentan en la planeación de la topología celular 3G, la cual, esta basada en el Sistema universal de telecomunicaciones móviles **UMTS** (“*Universal Mobile Telecommunications System*”); para entender las dificultades que se presentan en la planeación, es importante hacer una pequeña descripción de la arquitectura UMTS.

Una arquitectura típica de UMTS se muestra en la figura (1), donde se observa que una red UMTS está dividida en dos partes: la *red de acceso* y la *red de núcleo*. La primera, es también llamada red UMTS de radio terrestre **UTRAN**, la cual esta compuesta por muchos subsistemas de red de radio **RNS** (“*radio network subsystem*”). Cada RNS contiene un controlador de red de radio **RNC** (“*radio network controller*”) y una o mas estaciones bases *BS* (“*base estation*”).

Las estaciones bases (en este caso son los *nodos B*) son usados para transmitir/recibir radiofrecuencia hacia/desde los usuarios móviles, mientras que las RNC se ocupa de los recursos y la gestión de trafico de datos. El principal objetivo de la UTRAN (“*UMTS Terrestrial Radio Access Network*”) es hacer el enlace entre los usuarios móviles y el núcleo red.

1.8 Planeación de Celda

El autor *Hitlarie*, descompone la planeación de las redes móviles de manera modular, con el fin de reducir la complejidad y los divide en los siguientes subproblemas:

- Subproblemas de planeación de celdas.
- Subproblemas de planeación de red de acceso.
- Subproblemas de planeación de núcleo de red.

La parte de los subproblemas que se necesita abordar con más detalle, son los de planeación de celdas, ya que se asemeja más al enfoque que se necesita en la planeación de redes inalámbricas de banda ancha; a continuación se describe dicho subproblema, así como algunos trabajos que se han realizado.

1.8.1 Subproblema de celdas o localización de estación base

El problema inicial de planeación es cubrir todos los usuarios móviles en un área determinada con el número mínimo de BSs. En la planeación de celdas se encarga de resolver los siguientes items:

- Optimizar el número de BSs.
- Mejor localización para instalar BSs.
- Escoger el tipo o modelo de BSs.
- Configuración (altura, orientación, potencia, etc).
- Asignación de usuarios móviles a la BS.

Los problemas de planeación pueden variar dependiendo en la planeación de red objetivo. Usualmente, en la planeación de red se requiere * Minimizar los costos de la red. * Maximizar la calidad de la señal. * Maximizar el área de cobertura.

Sin embargo esto puede ser contradictorio, ya que por ejemplo, si se quiere maximizar la cobertura se necesitaran desplegar mas BSs y esto por supuesto, aumentara los costos.

Al principio la planeación de redes inalámbricas se realizaba teniendo en cuenta la predicción de la señal, sin embargo en las redes UMTS, la planeación de radio no puede ser solo basado en la predicción de la señal sino que se deben tener en cuenta la distribución de trafico. En esta parte aparece gran cantidad de literatura del autor Amaldi, en [?], el autor contextualiza que en la planeación de radio en el El sistema global para las comunicaciones móviles **GSM** ("Global System for Mobile communications") se realizaba en dos fases, la fase de planeación de cobertura donde se define la mejor localización de las BSs teniendo en cuenta los modelos de propagación y la fase de planeación de frecuencia, que define el numero de canales para cada BS teniendo en cuenta la calidad de la señal de interferencia de radio **SIR** ("Signal-to-Interference Ratio").

Sin embargo, teniendo en cuenta el Acceso múltiple por división de código de banda ancha W-CDMA ("Wideband Code Division Multiple Access"), esto ya no se puede realizar en estas dos fases, debido a que el ancho de banda es compartido por todas las conexiones activas y no por la frecuencia asignada, así como también el área de cobertura de cada BS es afectada por la cantidad de trafico.

Para la planeación de celdas, se tiene en cuenta los parámetros de calidad de la SIR, en el cual se define una SIR mínima, el cual depende de la potencia recibida; Esta depende de la potencia transmitida y las atenuaciones de señal en la propagación, por ende la potencia transmitida se puede ajustar para minimizar la interferencia, aquí aparece un concepto importante, el cual es el control de potencia **PC** ("power control"), en donde se ajusta la potencia de transmisión para cumplir dos objetivos, la potencia objetivo recibida P_{tar} y la SIR objetivo SIR_{tar} . En este artículo *Amaldi* propone un modelo de programación matemática, que ayuda en la decisión de planear redes móviles, teniendo en cuenta la mejor localización y configuración de las BSs, teniendo en cuenta el modelo de propagación *Hata*, donde se ajusta el PC y este a su vez es probado con un algoritmo aleatorio voraz, el cual añade o remueve BSs de la topología; En este artículo se describe el rendimiento de esta solución dando resultados óptimos y también demuestra que este problema es un problema típico de NP-hard.

En la planeación de redes, ha menudo se utiliza la optimización de varios objetivos, mas conocido como optimización multi-objetivo, el cual es diferente de una optimización simple, puesto que aquí solo importa optimizar un parámetro, dando como resultado el mejor diseño o la mejor optimización, teniendo en cuenta un máximo o un mínimo global que dependerá del objetivo de la optimización (maximizar o minimizar), sin embargo en la optimización multi-objetivo, existe mas de una solución optima con respecto a todos los objetivos; aquí, el objetivo consiste en encontrar un optimo de pareto, el cual nos dice que una solución es

optima cuando no existe otra solución tal que mejore en un objetivo sin empeorar al menos uno de los otros.

Como se ha visto anteriormente, en la planeación se pueden abordar diferentes objetivos (lugar de instalación de BS, configuración, altura, potencia, etc), sin embargo, al momento de planificar la red, atacar todos los problemas al tiempo es un problema complejo, por esto, se han venido implementando algoritmos multi-objetivos, generalmente para estos casos se han venido desarrollando algoritmos genéticos AG, en el trabajo de (Raisanen and Whitaker, 2005), los autores recolectan cuatro estados del arte de algoritmos genéticos multi-objetivo, donde los ponen a prueba para planificar una red aumentando la cobertura teniendo en cuenta los costos y los comparan teniendo en cuenta su desempeño en ciertas pruebas sintetizadas ; los autores toman como referencia los algoritmos: **SPEA2**, **NSGAII**, **PGSA** y **SEAMO**. A continuación de hará una breve descripción de cada uno.

- **SPEA2** (*The Strength Pareto Evolutionary Algorithm version II*):

La población inicial es sometida a un fitness (aptitud), donde se escoge el valor individual mas *fit* de la unión del archivo y la población hija. El valor de fitness, esta dado por la suma de dos partes, *raw fitness*, el cual esta dada por cuantas soluciones domina y la *densidad estimada*, el cual es la proximidad de otras soluciones en el espacio objetivo. Cada generación n es guardada en el archivo, en donde es de nuevo aplicado el operador a la nueva generación; Este proceso se repite hasta terminar el proceso.

- **NSGA II**

El individuo mas *fit* esta determinado por la unión del archivo y la población hijo, determinado por mecanismos de clasificación compuesto de dos partes. La primera parte esta compuesta al determinar la capa de soluciones que no son dominadas, es decir, las que están mas cerca al frente de pareto. La segunda parte es una medida de dispersión, determinada por la distancia de hacinamiento crowding distance), el cual se escogerá el que tenga menor hacinamiento, puesto que esto significa que tendra mas población cubierta y la solución sera mas diversificada. Este proceso se repetira n repeticiones, guardando el valor de los dos resultados y repitiendo lo mismo con las nuevas generaciones, hasta que el algoritmo finalice.

- **PESA** (*The Pareto Envelope-based Selection Algorithm*)

A diferencia de los dos algoritmos anteriores, el *PESA* no tiene un tamaño de archivo fijo y solo permite que las soluciones no dominadas sean miembros, por ende es mas limitado. Si el archivo excede el tamaño de n soluciones, un factor *squeeze* o factor de compresión, es calculado para todos los miembros del archivo. El factor de *squeeze* es el total de miembros en una subregión en una cuadrícula (las que están en el espacio de búsqueda, dentro de la subregión). El factor *squeeze* mas alto es el que tenga mas vecinos locales en una solución. Los miembros aleatorios de la región de la cuadrícula con el factor de *squeeze* más alto se eliminan hasta que se reduce el tamaño del archivo a n . Los operadores genéticos son aplicados en los miembros del archivo a una nueva población hijo. Este proceso se repite hasta la finalización.

- **SEAMO** (*Simple Evolutionary Algorithm for Multi-objective Optimization*)

La principal diferencia entre *SEAMO* y otro algoritmo, es que este es de estado estable y solo mantiene una población (de un tamaño constante n). La principal ventaja del algoritmo *SEAMO* es su simplicidad, el cual usa la disposición de todos los mecanismos de selección

basado en fitness o rango. El avance de la búsqueda esta definido por tres simples reglas:
los padres solo son remplazados por su propia descendencia.

Las poblaciones duplicadas son eliminadas.

La descendencia solo puede reemplazar a los padres si es superior: elitismo.

Los operadores genéticos se aplican a cada padre para formar un nuevo hijo, que se considera para la sustitución en la población de padres según las tres reglas. Este proceso se repite hasta la terminación.

El aspecto clave de este marco es una decodificador que utiliza un orden de ubicaciones de sitios candidatos para construir una celda. En este trabajo se concluyo que los algoritmos son similares en sus resultados en términos reales, sin embargo se encuentran algunas diferencias, el NSGA-II y SPEA2, tienen resultados similares en cuanto al rendimiento, el algoritmo PESA generalmente obtiene ligeramente una baja calidad en el conjunto de soluciones, pero en cuanto a la velocidad de convergencia y distribución de soluciones tiene el mejor desempeño. En cuanto a SEAMO, se destaca por su simplicidad, su elegancia conceptual, su fácil implementación y su velocidad de ejecución , pero su simplicidad impide tener calidad en cuanto a la distribución de las soluciones obtenidas y en el bajo rendimiento en los factores medidos en el desarrollo del test. Para finalizar el trabajo, los autores determinaron que el algoritmo NSGA-II tiene el mejor rendimiento, siendo el que mejor se podría implementar en la planeación de celdas ya que obtuvo los mejores resultados de calidad en las soluciones obtenidas.

1.8.2 IEEE 802.16

1.9 Redes de área Local (LAN)

1.10 Redes BWA en zonas Rurales

1.10.1 IEEE 802.11

Sen propone la posibilidad de usar IEEE 802.11 como una opción para proporcionar conectividad a internet en zonas rurales en desarrollo permitiendoles acceso a los servicios de tecnología de información y comunicación. Las tecnologías 802.11 se ha presentado como una opción de bajo costo y efectiva para cubrir largas distancias, ya que permite que zonas muy amplias puedan conectarse a un nodo de línea terrestre con conectividad a internet de forma cableada (como fibra óptica) por medio de enlaces inalámbricos. Cada enlace inalámbrico corresponde a una antena en una torre instalada en cada pueblo, estos deben tener línea de vista **L.O.S.** (*line of sight*).

Gracias a su bajo costo esta tecnología sirve como herramienta para la planificación de redes minimizando el costo del sistema, se convierte entonces en una tarea trivial ya que tiene en cuenta los siguientes conjuntos de variables:

1. Afectan el coste del sistema

- Topología de la red
 - Altura de las torres
2. Afectan el rendimiento global de la red
- Tipos de antena
 - Potencias de transmisión de radio

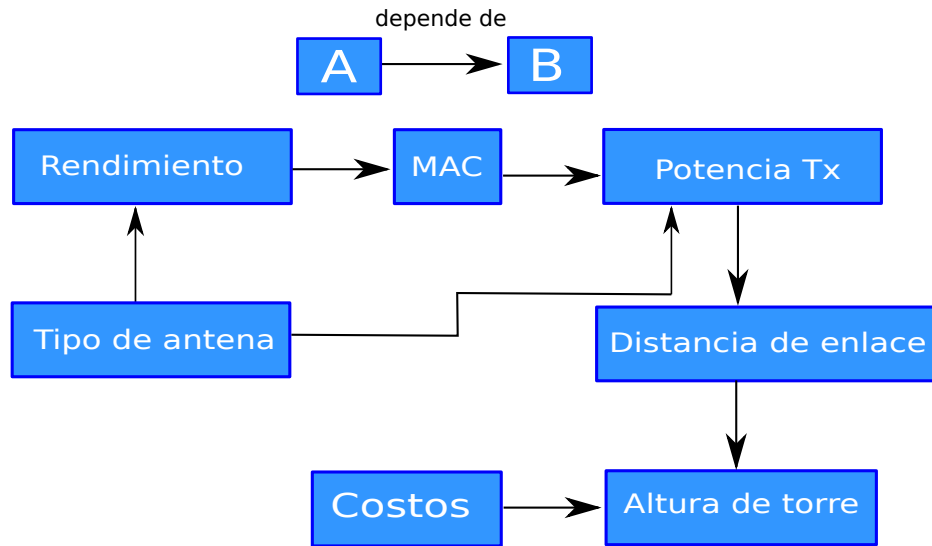


Figure 1: Dependencias de requerimientos a demás

Basado en un proyecto titulado 'Digital Gangetic Plains' los autores argumentan que el costo principal en redes de larga distancia con 802.11 es el conjunto de torres de antenas, puesto que una antena puede valer \$50, una torre de 30 m puede valer \$1000, por esto es de vital importancia tener una buena planeación en la primera decisión de despliegue; la tesis de *Sayandeep Sen y Bhaskaran Raman* [] se enfoca en que el principal problema es minimizar los costos, por esto se hace énfasis en la planeación de una topología de red inalámbrica optimizando los costos el despliegue, cabe destacar que al igual que *Bernardi* el despliegue con redes Ad-hoc no presta atención al costo del sistema y no permite escalar a grandes redes. Como característica definida se tiene que la falta de planificación impide que se garantice el rendimiento de la red.

Para la formulación en la construcción de una topología que permita el rendimiento de la red, se estipulan de tres principales restricciones:

1. Aplicación (restricción de rendimiento): Capacidad de carga y descarga por cada nodo o pueblo.
2. Restricción de Potencia: Se refiere al límite superior de la Potencia Isotrópica Irradiado (PIRE) en cada transmisor y el límite inferior de potencia recibida en el receptor (sensibilidad del receptor).
3. Restricción de interferencia: La señal recibida debe ser mayor al umbral de interferencia.

Los ítems 1 y 3 Usan el protocolo de control de Acceso al medio MAC, sin embargo, [sent] plantea la implementación del protocolo 2PMAC debido a que permite a multiples enlaces operar simultáneamente (funcionamiento síncrono) y está específicamente diseñado para redes inalámbricas de larga distancia. Los protocolos MAC tienen limitaciones ya sea de acceso

múltiple por división de tiempo (TDMA) o detección de portadora de Acceso Múltiple con prevención de colisiones (CSMA/CA), una en la que los enlaces operan en turnos predeterminados y la siguiente en la que los enlaces no tienen un orden predeterminado compitiendo por una pequeña duración para seleccionar el enlace que operara al mismo tiempo, respectivamente. De acuerdo al protocolo MAC utilizado se determina el máximo rendimiento alcanzable por un nodo en la topología y la potencia de transmisión de cada uno de ellos.

El problema de construcción de la topología se puede establecer como:

“ Teniendo en cuenta, (a) las ubicaciones (coordenadas $\langle x, y, z \rangle$) de un conjunto de aldeas que se proporcionarán con conectividad de red y la de la línea terrestre que proporciona y (b) el requisito de ancho de banda específico por nodo de aldea, lo que es la topología de costo mínimo que satisface las tres restricciones: rendimiento, interferencia y potencia. ”

1.10.2 Consideraciones de diseño y enfoque de solución para las variables

1.10.2.1 Topología de Búsqueda (TS):

Explorar el espacio de búsqueda para encontrar la topología de la red, se hace uso del algoritmo Branch-and-bound (Algoritmo de ramificación y límite), con ello se construye la topología de árbol.

1.10.2.2 Asignación de altura (HA):

Consiste en la altura óptima de las torres en las ubicaciones dadas una vez que se ha formado la topología, para ello se utiliza un conjunto de ecuaciones de programación lineal (LP).

1.10.2.3 Asignación de Antena (AA):

Asignación apropiada de las antenas y sus respectivas orientaciones, se desarrolla un algoritmo heurístico de tiempo complejo polinómico.

1.10.2.4 Asignación de Potencias (PA):

Proporcionar las potencias de transmisión en los radios del sistema usando LP.

El objetivo principal es el de reducir el mínimo costo de implementación, sabiendo que el rendimiento de la red depende del tipo de enrutamiento y del protocolo MAC implementado. Por su simplicidad se propone la topología de árbol ya que proporciona una fácil conectividad y para este caso no aborda la tolerancia a fallos, cabe resaltar que utiliza un enrutamiento fijo.

El problema radica en el hecho de que las zonas rurales tienen baja densidad de usuarios y grandes distancias entre grupos de usuarios, esto conlleva a que compañías de telecomunicaciones o proveedores de internet (ISP) vean poco atractiva la inversión en estos lugares debido al costo inicial de infraestructura y despliegue de la red y bajo retorno de su inversión.

Según Bernardi, en las últimas décadas se ha incrementado la conectividad de banda ancha, siendo la ADSL (del inglés Asymmetric digital subscriber line) con más del 60% de las

conexiones de banda ancha en países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos es un organismo de cooperación internacional (OCDE); esto se debe principalmente al éxito de la capitalización de ADSL debido al éxito de la red de telefonía. Esta tecnología se caracteriza por que la tasa de transmisión máxima que puede alcanzar esta en función de la distancia entre el usuario y la central telefónica, es decir, entre más larga sea la distancia, la velocidad de transmisión es más lenta, por esta razón es comúnmente más utilizada en áreas metropolitanas debido a que tiene más suscriptores y sea más efectivo retornar la inversión de despliegue de una infraestructura. Esto es la principal causa de la brecha digital que existe entre las áreas rurales y metropolitanas.

El internet satelital se podría decir que es una alternativa de conexión, puesto que está disponible prácticamente en cualquier parte y es frecuentemente subsidiada en áreas remotas incomunicadas, sin embargo, también tiene latencia de tiempo de ida y vuelta muy altos, lo cual lo hace inadecuado para aplicaciones que consuman un ancho de banda considerable, como es el caso de una videollamada (skape).

Pero Bernardi expone el Despliegue de una red Rural de Banda Ancha (BWA) argumentando que la planeación ad-hoc no es una alternativa de diseño eficiente para este tipo de redes, sin embargo, refiere que la industria ofrece software para planeamiento de redes inalámbricas pero estos no están disponibles ni son adecuados para comunicar pequeñas comunidades y pequeños proveedores de servicio de Internet inalámbrico (WISP) ; cabe resaltar que las BWA usan un modelo de dos niveles, consistiendo en radioenlace Punto Multipunto (PMP) y Punto a Punto (PTP), el primero enlazando la Antena de la torre a los diferentes clientes y el segundo correspondiente al Backhaul. A través del planeamiento de red incremental Bernardi desarrolla un software denominado IncrEase cuyo enfoque es identificar la estrategia de despliegue más económica para planear la red teniendo en cuenta que los CPE (customer Premises Equipment) son la opción más rentable para llegar a la población en zonas rurales.

Los proveedores de servicio de internet inalámbrico implementan una metodología de diseño para operar en escenarios rurales obteniendo remuneración de su inversión, este consiste en planificar su crecimiento ampliando su cobertura, tomando variables como:

- Limitar el alcance geográfico de los WISP: Para reducir los costos de operación
- Infraestructura de la red: En áreas rurales la fibra para el Backhaul no está disponible, por ello los WISP deben desplegar su propio Backhaul inalámbrico, aumentando los costos.
- Cobertura de la red: El despliegue rural está basado en la cobertura más no en la capacidad
- Presupuesto ajustado: Los proveedores de internet buscan obtener un retorno de su inversión desde su etapa de despliegue ya que las zonas rurales son entornos de baja rentabilidad
- Clientes agrupados: Proporcionar acceso a la red en sectores dónde haya más densidad de la población, para así captar más usuarios.

La falta de herramientas de software para el diseño, gestión y evaluación de redes de acceso inalámbrico de banda han obstaculizado su despliegue generalizado a pesar de sus costos y ventajas operativas sobre otras alternativas de Tecnologías de acceso de banda. Bernardi desarrolla un paquete de software para llenar esta brecha, con especial énfasis en las regiones

rurales y en desarrollo. Se resalta que abordó tres desafíos técnicos en el contexto de redes de acceso inalámbrico de banda ancha:

- Mapeo de Banda Ancha
- Planeación de redes
- Administración de redes

1.11 Herramienta IncrEase

Se desarrolla un software de código abierto IncrEase implementado como una aplicación de escritorio multiplataforma en Java. IncrEase esta basado en un GIS de software libre de la NASA World Wind Java y en una base de datos gráfica Neo4J.

Para la implementación de IncrEase se toman tres fuentes:

- Demanda de la cobertura: Posibles usuarios de zonas rurales que no tienen acceso al servicio
- Usuarios que fallaron en la etapa de instalación: Cobertura insuficiente
- Reporte mesas de ayuda: Localización de los usuarios existentes

Además se obtienen otros datos de factores influyentes como la disponibilidad DSL, la cobertura de red 3G y datos demográficos. IncrEase a través de datos en forma de arreglo bidimensional cubre regiones de interés y con ello obtiene mapas de calor (áreas de mayor beneficio por la actualización de la red). En estos mapas a mayor calor menor es la cobertura, una posible solución es la instalación de una torre a partir de una lista de torres disponibles en esa área.

1.11.1 Modo de operación herramienta IncrEase

Flujo de información de la herramienta

- IncrEase Targeted: En este modo de operación el operador selecciona una región específica de cobertura, como parte de expansión de la red
- Búsqueda Estratégica: Dónde la herramienta guía al operador para decidir el orden de despliegue de sitios de transmisión en el horizonte de corto o largo plazo basado en la rentabilidad esperada

La contribución de Bernardi es potenciar el negocio de los pequeños proveedores de internet inalámbrico (WISP) en zonas rurales a través de un sistema de software, haciéndolo más eficiente reduciendo la brecha digital.

A nivel local, [Rios] propone una solución de construcción de topología en redes rurales inalámbricas en la región del sumapaz-Colombia. Dentro de este contexto y al igual que sen, bernardi, maserati, expone que el principal desafío es el costo que conlleva establecer redes en zonas rurales, haciendo especial énfasis en el costo de construcción de las torres que soportan las antenas, debido a que es el costo más grande en comparación con los atribuidos a los equipos de comunicación. Presenta los siguientes referentes:

1.11.2 Construcción de redes

Dentro de este campo determina elementos tales como:

- Costos de las torres
- Baja densidad de la población
- Bajo poder económico
- Costos de infraestructura y equipos

1.11.3 Topología

Establece que las redes rurales mantienen una topología fija y se realizan enlaces de larga distancia, sin embargo, al ser áreas campestres existe una mayor cantidad de obstrucciones y acorde la topografía varia la altura de los obstáculos.

1.11.4 Costo de las torres

Para lograr obtener linea de vista entre los diferentes nodos es necesario que las torres tengan una altura suficiente para superar los obstáculos oresentados en el terreno. Para la construcción de estas torres establece dos tipos de materiales:

- Mástiles
- Torres de acero ventadas

De lo anterior determina que el coste de la torres es directamente proporcional a su altura.

Bibliografía

Amaldi, Capone, E. 2003. "Planning UMTS Base Station Location: Optimization Models with Power Control and Algorithms." *IEEE Transactions on Wireless Communications* 2 (septiembre): 939–52.