
Óptima ubicación de multiples Inhibidores de señal (Jammers) en un mapa con restricciones de cobertura a través del algoritmo de Evolución Diferencial basado en un esquema de mutación adaptativo

Hugo Santiago Yépez y Juan Carlos Rivera

hsyepcz@eafit.edu.co, jrivera6@eafit.edu.co

Departamento de Ciencias Matemáticas

Escuela de Ciencias

Universidad EAFIT

Medellín – Colombia

Resumen

En el presente trabajo analizamos el problema conocido como NCPP (Nonidentical Packing Problem) que se refiere al cubrimiento de superficies circulares de diferentes medidas en un contenedor de superficie rectangular. El problema requiere que se cubra la mayor parte de la superficie rectangular con el número mínimo de superficies circulares, tomando en cuenta el diseño y las soluciones tecnológicas. El problema tiene una aplicación práctica en la industria de telecomunicaciones como la ubicación radio bases, access point, inhibidores de señal, sensores de radio frecuencia, etc, para alcanzar el mayor porcentaje de cobertura de la señal radioeléctrica minimizando el número de estaciones bases a instalar. Maximizar la cobertura de los inhibidores de señal pertenece a la clase de los problemas de NP-Hard, no existe un método eficiente para resolverlo, pero solo se puede realizar una solución aproximada empleando algoritmos meta heurísticos usando como estrategia con algunas técnicas de optimización como es el algoritmo de evolución diferencial usando una mejora en la fase de mutación y selección, principalmente centrado en la fase de mutación un esquema de mutación adaptativa, el nuevo esquema de selección es propuesto usando múltiples operadores de mutación que adaptativamente emplean cuatro de los operadores de mutación, incluyendo “rand/1”, “rand/2”, “best/1” y “best/2” para seleccionar los vectores target de la población. Este nuevo esquema permite mantener efectivamente el balance entre la exploración global y la explotación local para el proceso de búsqueda de evolución deferencial. Finalmente, este documento describe un método para la ubicación de múltiples jammers y la estimación de la potencia de transmisión utilizando solo la potencia de señal recibida (RSS) de los dispositivos de detección de espectro para el mapa de entorno rectangular. El problema de la localización de inhibidores es un problema importante en un contexto táctico. De hecho, una interferencia puede usarse para interrumpir las comunicaciones inalámbricas operadas transmitiendo en la misma banda de frecuencia.

1. Introducción

Los problemas de corte, cubrimiento y empaquetamiento son problemas científicamente desafiantes con un amplio espectro de aplicaciones. Son problemas de optimización combinatoria NP-Hard; es decir, ningún procedimiento puede resolverlos exactamente en tiempo polinomial determinista. Son encontrados en una variedad de aplicaciones del mundo real, incluida la producción y el embalaje para las industrias

Última actualización: Noviembre de 2018

textil, telecomunicaciones, de indumentaria, naval, automovilística, aeroespacial y alimentaria. Ellos son cuello de botella a problemas en el diseño asistido por computadora donde se deben generar planes de diseño para plantas, radios de cobertura, módulos electrónicos, plantas nucleares y térmicas, etc. [1]. En teoría computacional, el empaquetamiento pertenece a la clase de problemas NP-Hard, lo que implica que no existe una solución computacionalmente eficiente sin embargo existen varios algoritmos de aproximación que han sido empleadas en las últimas décadas, algunas de las cuales ya están muy cerca de la optimalidad en la práctica. No obstante, el interés en esta investigación por este problema siempre permanece tan fuerte que todavía es investigado intensivamente ya que cada pequeña mejora puede generar enormes valores económicos en la producción en masa de las industrias. Los problemas de corte, cobertura y empaque consisten en empaquetar un conjunto de objetos / objetos geométricos de dimensiones fijas y forma en una región de forma predeterminada mientras se contabiliza para el diseño y las consideraciones tecnológicas del problema [1]. El embalaje identifica la disposición y las posiciones de los objetos geométricos que determinan las dimensiones de la forma que contiene y alcanza el extremo de una función objetivo específica [1]. Cuando los objetos geométricos son objetos, el problema de empaque se reduce a un modelo matemático cuyas restricciones reflejan las condiciones de disposición de objetos dentro de la región dada, las condiciones de no intersección mutuas para objetos, y cualquier restricción tecnológica que no se puede reducir a restricciones puramente geométricas [1] (como cortes de guillotina para un embalaje rectangular). Un enfoque para resolver este complejo problema es organizar los objetos de acuerdo a algún orden prescrito en , y para buscar el extremo local exacto [1], sin embargo, la búsqueda de extremos locales exactos lleva mucho tiempo sin ninguna garantía de que sea suficientemente bueno para converger a lo óptimo [1]. Empacar objetos circulares es un desafío a la geometría discreta y computacional [2]. Con una gran cantidad de objetos circulares para empackar, la solución óptima es muy difícil de encontrar. Una solución óptima puede rotarse, reflejarse o reordenarse los objetos circulares; por lo tanto, el número de soluciones óptimas equivalentes aumenta a medida que aumenta el número de objetos circulares [2-4]. Además, uno o más de los objetos circulares pueden moverse ligeramente sin afectar la solución óptima. De hecho, existe un continuo de soluciones óptimas [2-4]. Por último, hay problemas de precisión y precisión computacional. Obviamente, empaquetar objetos circulares genera problemas de optimización, pero su clasificación en problemas continuos o discretos es borrosa. De hecho, las posiciones de los objetos circulares son continuos mientras que la estructura de un patrón óptimo tiene una naturaleza discreta [5]. La tendencia reciente es diseñar técnicas de solución que aborden, en cierta medida, estos dos aspectos al mismo tiempo. Muchas variantes del embalaje de objetos circulares en el plano se han formulado como problemas de optimización no convexa; con la esperanza de que estas formulaciones cuando se resuelven usando programación no lineal disponible (NLP) solucionadores ofrecen soluciones aproximadas de alta calidad [6]. Sin embargo, la mayoría de los solucionadores de NLP no identifican el óptimo global. De hecho, problemas con los objetos circular son problemas de optimización muy difíciles. Tienen una gran cantidad de variables y mínimos locales. Por lo tanto, requieren ser abordados con algoritmos que combinen búsquedas locales con procedimientos heurísticos para explorar ampliamente el espacio de búsqueda [7, 8]. La tendencia reciente ha sido adoptar métodos de aproximación (heurística) que combinan métodos de búsqueda global (heurístico) y métodos de exhaustivo local (exacta) búsqueda de mínimos locales o sus aproximaciones [9]. En general, hay dos enfoques para trabajar con problemas de optimización de cobertura. Estos son uno basado en métodos de programación matemática basado en la gradiente y el otro es el uso de algoritmos meta heurísticos basados en la población. Debido a las barreras como la alta no linealidad, la no convexidad y respecto al diseño implícito de las variables, los métodos de optimización basados en la gradiente, son a menudo difíciles de manejar debido a que se requiere información de la gradiente con respecto al diseño de las variables y depende mucho de escoger un punto inicial, para obtener satisfactoriamente la solución óptima global. Por el contrario, gracias a las habilidades de búsqueda global, sin usar información de la gradiente, los algoritmos meta heurísticos basados en población han demostrado ser métodos eficientes para tratar este tipo de problemas. Con la gran variedad de algoritmos meta heurísticos basados en población (e.g., particle swarm optimization (PSO) [15], artificial bee colony (ABC) [16], and cuckoo search (CS) [17], etc.), the differential evolution (DE), fue propuesto por Storn y Price [18], ha sido un método más prometedor cuando fue testeado su eficiencia sobre 15 funciones de benchmark diferentes [19]. DE ha sido aplicado exitosamente y aplicado en numerosos problemas como en telecomunicaciones [20], patrones de

reconocimiento [21], ingeniería mecánica [22-27], estructuras de monitoreo de salud [28,29], entrenamiento de redes neuronales artificiales [21, 30]. Sin embargo, el principal límite de DE está relacionado al alto costo computacional. [31-33].

Propagación de señales radioeléctricas

La base de los servicios de comunicación inalámbrica, como la telefonía móvil, la radio, televisión abierta, televisión digital, satelital, etc., es la transmisión y recepción de señales en forma de ondas que viajan por el espectro radioeléctrico para llevar información desde una estación transmisora/receptora hasta un dispositivo de usuario. Para que dicha comunicación sea posible en condiciones satisfactorias para los usuarios, cada conexión debe viajar por un carril libre, es decir, una porción del espectro que no esté siendo ocupada, debido a esta razón, el espectro está dividido en bandas de frecuencias.

La zona geográfica donde llegan de manera perceptible las ondas electromagnéticas de una o varias estaciones transmisoras o donde un dispositivo de usuario puede enviar señales que sean percibidas por las estaciones receptoras, se denomina zona de cobertura.

La cobertura depende de factores como la potencia máxima del transmisor y la potencia mínima que pueda percibir el receptor, la frecuencia de operación (las frecuencias bajas alcanzan mayores distancias y tiene mejor penetración en edificaciones), la calidad del filtro del transmisor, las características de las antenas (ganancia para incrementar la potencia del transmisor, capacidad de concentrar la señal en una dirección específica), y los obstáculos que se encuentren en el medio como edificaciones, árboles, cuerpos de agua, etc. que generan que las señales se reflejen, se refracten, tomen varios caminos, entre otros fenómenos.

Esta situación genera que la huella de cobertura de una estación base transmisora, comúnmente representada por una circunferencia o un hexágono, realmente tenga una forma imposible de predecir con exactitud, con obstrucciones de la señal o reflexiones que pueden ocasionar que las ondas alcancen mayores distancias, por ejemplo, en vías bordeadas por edificaciones.

Bloqueador o inhibidor de señal celular (jammer)

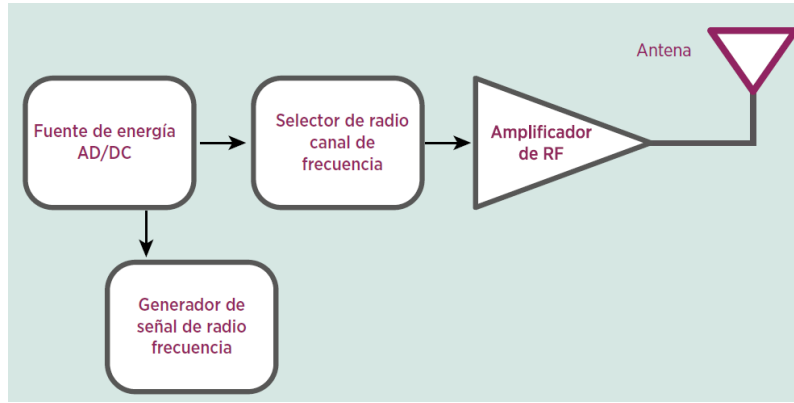
Los bloqueadores, inhibidores de señal o Jammers (por su término en inglés), son dispositivos que producen perturbaciones en una banda de frecuencia, con la intención de bloquear o interferir los equipos electrónicos que quieran hacer uso efectivo del espectro radioeléctrico. Su uso más común se genera sobre las señales de radio frecuencia de las tecnologías celulares, pero pueden afectar cualquier tipo de tecnología que opere en sus bandas de funcionamiento.

En esta sección se presentan algunos conceptos básicos sobre el funcionamiento de los bloqueadores de señal.

Funcionamiento

Un bloqueador o inhibidor de señal es un dispositivo de radiofrecuencia que intencionalmente transmiten señales en bandas específicas del espectro con el objeto de impactar, bloquear, interferir o saturar los servicios de comunicaciones de usuarios móviles tales como: llamadas de celular, mensajes de texto, señales de posicionamiento GPS, servicios de datos, redes de Wi-Fi, entre otras. Para esto introducen en la frecuencia indicada señales de ruido o información inútil falsa que sature la banda, impidiendo que la información verdadera llegue a su destino.

Diagrama básico de un inhibidor de señal



Los bloqueadores o inhibidores de señal siguen unos principios básicos, con una arquitectura que cuenta con un oscilador que genera la señal, un generador de ruido, una etapa de ganancia para dar suficiente potencia a la señal y finalmente una o varias antenas que transmiten lo generado. El objetivo de la señal generada es interrumpir la comunicación entre la estación base y el dispositivo móvil, generando que la relación entre la señal útil o real y la señal de ruido o interferente medida en el dispositivo o en la estación base sea lo suficientemente baja para que ningún mecanismo digital de recuperación de señal logre establecer o mantener una comunicación estable.

En términos generales, los móviles ubicados dentro de la cobertura de una estación base pueden recibir las señales enviadas por esta. Así mismo, la estación base puede recibir todas las señales generadas por dispositivos de transmisión de radiofrecuencias dentro de su zona de cobertura y en la su frecuencia de operación. De esta manera, cuando los bloqueadores de señal generan una señal interferente en el enlace descendente que compite con los niveles de potencia de las señales enviadas por las estaciones base en la zona donde se localiza el usuario que se desea bloquear, se genera una degradación de la relación señal a interferencia tan alta que no es posible decodificar los mensajes útiles de la comunicación.

1. Revisión de literatura

Esquema de Evolución diferencial

2 Inicialización de parámetros de los vectores

En este paso, se inicia una población creada aleatoriamente. Cada vector, también conocido como genoma, cromosoma, forma una solución candidata al problema de optimización multidimensional. más meritorios deben seleccionarse para producir descendientes. Hay diferentes tipos de métodos para la selección en la optimización de DE. En este trabajo, se evaluó la ruleta. En el problema de optimización, la selección tipo ruleta apareció más poderosa en términos de la capacidad de encontrar el valor óptimo para la función objetivo por el menor número de iteraciones. La selección uniforme selecciona los cromosomas de la población con igual probabilidad.

$x_i = x_{i,1}, x_{i,2}, x_{i,3}, \dots, x_{i,D}$ y se produce como

Inicialmente, una población con individuos NP es creada al azar desde el espacio de búsqueda. Cada individuo es un vector que contiene D variables de diseño $x_i = \{x_{i,1}, x_{i,2}, x_{i,3}, \dots, x_{i,D}\}$ y se produce como

$$x_{i,j} = x_j^l + \text{rand}[0,1] \times (x_j^u - x_j^l) \quad i = 1, 2, \dots, NP; j = 1, 2, \dots, D$$

donde $x_{j\ l}$ y $x_{j\ u}$ son los límites inferior y superior de x_j , respectivamente; $\text{rand}[0,1]$ es un número aleatorio distribuido uniformemente en $[0,1]$; NP es el tamaño de la población; y D es el número de variables de diseño.

3 Mutación

En segundo lugar, cada individuo llamó al vector objetivo x_i en la población se utiliza para generar un vector mutante v_i por operaciones de mutación. Cuatro populares operaciones de mutación se utilizan a menudo en la DE de la siguiente manera:

$$\text{--rand/1: } v_i = x_{r_1} + F \times (x_{r_2} - x_{r_3})$$

$$\text{--rand/2: } v_i = x_{r_1} + F \times (x_{r_2} - x_{r_3}) + F \times (x_{r_4} - x_{r_5})$$

$$\text{--best/1: } v_i = x_{\text{best}} + F \times (x_{r_1} - x_{r_2})$$

$$\text{--best/2: } v_i = x_{\text{best}} + F \times (x_{r_1} - x_{r_2}) + F \times (x_{r_3} - x_{r_4})$$

Donde los números enteros r_1, r_2, r_3, r_4 y r_5 se seleccionan al azar de $\{1, 2, \dots, \text{NP}\}$ tal que $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq r_4 \neq r_5 \neq i$; El factor de escala F se elige aleatoriamente dentro de $[0,1]$; y x_{best} es el mejor individuo de la actual población.

Durante esta operación, algunos cromosomas se cambian aleatoriamente y producen nuevos descendientes. Para la función de aptitud definida, se simuló la mutación factible gaussiana, uniforme y adaptativa. Investigamos que la mutación uniforme puede lograr el valor óptimo en el menor número de generaciones.

Cruce

ED emplea cruce uniforme

- ED cruza cada vector, con un vector mutante.

$$u_{i,g} = u_{j,i,g} = \begin{cases} v_{j,i,g}, & \text{if } \text{rand}_j(0,1) \leq Cr \text{ or } j = j_{\text{rand}} \\ x_{j,i,g} & \text{de otra manera} \end{cases}$$

Donde:

$Cr \in [0,1]$: Es un parámetro fijado por el usuario que controla la fracción de los valores de parámetro que son copiados al mutante

Selección

Si el vector de prueba $u_{i,g}$ tiene un valor objetivo igual o menor que el valor objetivo $x_{i,g}$ este reemplaza el vector objetivo en la siguiente generación, de otra manera el objeto se sitúa en la población por lo menos una generación más.

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} u_{i,g} & \text{si } f(u_{i,g}) \leq f(x_{i,g}) \\ x_{i,g} & \text{de otra manera} \end{cases}$$

3 Descripción del problema y formulación

Existen varias formas de interrumpir las comunicaciones inalámbricas, sin embargo, vamos a analizar la más utilizada que es generar interferencias. Los jammers o inhibidores de señal emiten continuamente señales de radio, independientemente de si el canal está inactivo o no. Dichos interceptores pueden ser interferencias de radio involuntarias generados por otros sistemas de comunicaciones, o pueden ser generadas intencionalmente para degradar la señal e interrumpir las comunicaciones inalámbricas. Se considera que cada jammer está equipado con una antena omnidireccional, es decir la cobertura obtenida

tiene idealmente una superficie circular. Por lo tanto, cada jammer tiene un rango de interferencia similar en todas las direcciones. La idea es ubicar en una superficie rectangular la mejor ubicación de los inhibidores a fin de cubrir la mayor área posible, como se lo indica en la figura 1.

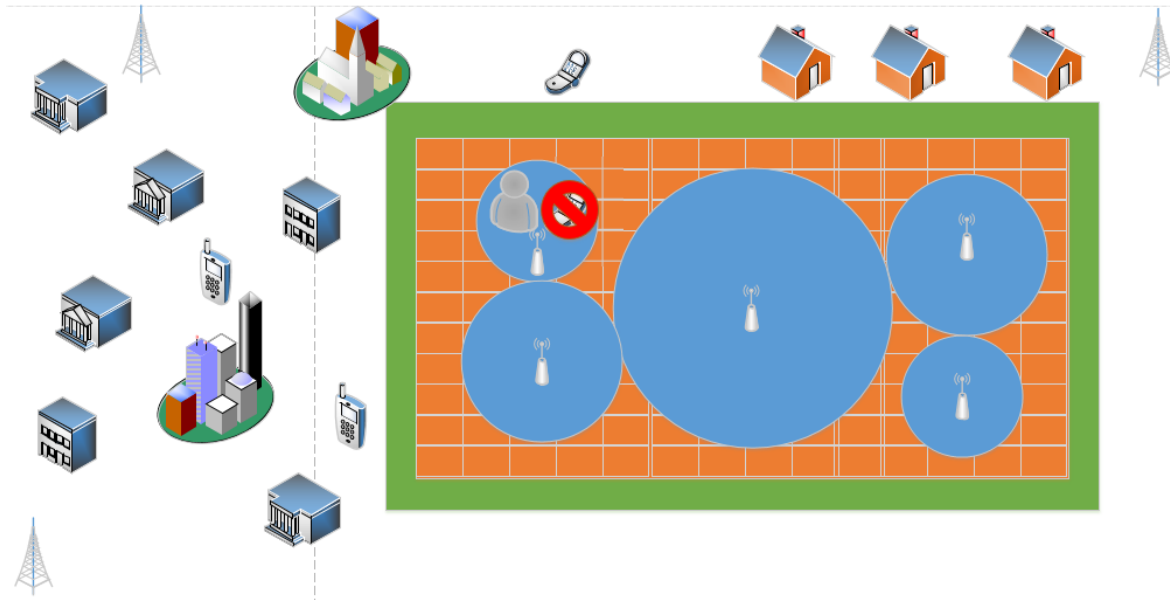


Figura 1

Una vez que los jammers son ubicados, el área interior del rectángulo es afectada y deben perder parcial o completamente las comunicaciones en las bandas de operación de los inhibidores. En el ejemplo representado en la Fig. 1, los nodos marcados como cuadrados rojos perdieron las comunicaciones. Los nodos representados en círculos azules son los inhibidores. Finalmente, el área de color verde tiene una baja afectación de interferencias, por los inhibidores y aún pueden comunicarse con sus vecinos.

El enfoque de ubicación de inhibidores funciona de la siguiente manera: dado un conjunto de JSS puntos generados aleatoriamente, por cada ubicación estimada, podemos proporcionar una retroalimentación de evaluación cuantitativa que indica la distancia entre las ubicaciones estimadas de los inhibidores.

Propagación de radio frecuencia

Para el presente trabajo se utilizó el trabajo realizado en Adaptive jammer localization in wireless networks y Collaborative mobile jammer tracking in Multi-Hop Wireless Network [25 26]. En comunicaciones inalámbricas, el valor de fuerza de la señal RSS (Received Signal Strength) se atenúa con el aumento de la distancia entre el transmisor y el receptor debido a la pérdida de la ruta y zonas de sombra, así como las adiciones constructivas y destructivas de los componentes de la señal multi camino [20], [21]. La pérdida de trayectoria se puede considerar como la atenuación promedio, mientras que la zona de sombra es la atenuación aleatoria causada por obstáculos a través de la absorción, los reflejos, la dispersión y la difracción [20], [21]. La Fig. 2 ilustra los contornos de un RSS y la relación entre las zonas de sombra y la pérdida de trayectoria. La atenuación causada por las zonas de sombra en cualquier ubicación, d metros del transmisor, puede presentar variaciones; la atenuación promedio y la intensidad de la señal promedio en el círculo centrado en el transmisor son aproximadamente iguales [27], [28]. En este párrafo, generalizamos el trabajo de [22], [23] para la estimación de la potencia para la localización y transmisión de varios emisores de interferencias en presencia de transmisores conocidos. Suponiendo que hay interferencias múltiples y transmisores conocidos cuyas señales no estén correlacionadas, podemos considerar la intensidad de la señal recibida (RSS) del dispositivo de detección de espectro $i \in \{1 \dots N\}$ como la suma de las contribuciones independientes de cada interferencia y transmisor conocido

$$RSS_i = \sum_{j=1}^M P_{Tj} - L(d_{i,Tj}) + \sum_{k=1}^K (P_{jk} - L(d_{i,Jk})) \quad (1)$$

con

P_{Tj} la potencia del transmisor del transmisor conocido, $j \in \{1 \dots M\}$, $L(d_{i,Tj})$ corresponde a las pérdidas en el camino $d_{i,Tj}$, entre el transmisor conocido, j dispositivo sensor del espectro, i en metros, P_{jk} la potencia del transmisor del jammer o inhibidor, $k \in \{1 \dots K\}$, y $L(d_{i,Jk})$ corresponde a la pérdida de señal en el camino debido a la distancia $d_{i,Jk}$ entre el jammer k y el dispositivo sensor de espectro i en metros.

Asumimos que conocemos la pérdida de señal en el log-camino, si no hay disturbios en la medición, la pérdida de señal en el log-camino es definido como

$$L(d) = L_0 + 10\alpha \log(d) \quad (2)$$

Con L_0 como pérdidas de camino en 1 metro, d la distancia en metros, y α la pérdida en el camino exponencial. El primer paso después de la colección de RSS de todos los sensores de espectro, es remover la contribución de los transmisores conocidos a el RSS.

$$v_i = RSS_i - \sum_{j=1}^M P_{Tj} - L(d_{i,Tj}) \quad (3)$$

Con v_i la contribución de los k jammers al RSS de los dispositivos sensores de espectro i

$$v_i = \sum_{k=1}^K (P_{jk} - L_0 - 10\alpha \log(d_{i,Jk})) \quad (4)$$

Suponemos que una sola emisión tiene la mayor contribución a la potencia de cada dispositivo de sensor de espectro i , por lo tanto, v_i en la ecuación 4 puede ser aproximado por \tilde{v}_i definida como

$$\tilde{v}_i = \max_k (P_{jk} - L_0 - 10\alpha \log(d_{i,Jk})) \quad (5)$$

Esta suposición requiere el conocimiento de la asignación de una emisión dominante a cada dispositivo de detección de espectro

$$\tilde{v}_i = \argmax_k (P_{jk} - L_0 - 10\alpha \log(d_{i,Jk})) \quad (6)$$

La distancia $d_{i,Jk}$ entre la interferencia k y el dispositivo de detección de espectro i se representa como la siguiente ecuación

$$d_{i,Jk} = \sqrt{(x_{Jk} - x_i)^2 + (y_{Jk} - y_i)^2} \quad (7)$$

Reemplazar (7) en (5) da la siguiente ecuación

$$\sqrt{(x_{Jk} - x_i)^2 + (y_{Jk} - y_i)^2} = 10^{\frac{P_{Jqi} - L_0 - \tilde{v}_i}{10\alpha}} \quad (8)$$

Elevar la potencia de dos y reorganizar la ecuación (8) lleva a la siguiente ecuación

$$x_i^2 + y_i^2 = 2x_{qi}y_i + 10^{\frac{P_{Jqi} - L_0 - \tilde{v}_i}{5\alpha}} - R_{qi}^2 \quad (9)$$

con

$R_{qi}^2 = x_{qi}^2 + y_{qi}^2$ Podemos expresar la ecuación [https://ezproxy.eafit.edu.co:2219/document/deqn9\(9\)](https://ezproxy.eafit.edu.co:2219/document/deqn9(9)) en forma matriz

$$A\theta = b \quad (10)$$

Con

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nk} \end{bmatrix}$$

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_k \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad b = \begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 \\ \vdots \\ x_n^2 + y_n^2 \end{bmatrix}$$

Mejora del algoritmo de evolución diferencial

En la mejora del algoritmo de evolución diferencial son hechas en 2 fases, la de mutación y selección, en la fase de mutación se emplea un esquema de mutación adaptativa con operadores multimutación, mientras que, en la fase de selección, una nueva técnica de selección es introducida. Trabajo realizado por Ho-Huu, V., en su trabajo de Optimal design of truss structures with frequency constraints using improved differential evolution algorithm based on an adaptive mutation scheme [24].

Mutación adaptativa con operadores multi-mutación

En la investigación realizada en relación con los operadores de mutación en eficiencia y robustez del algoritmo DE, Qin et al. [35] indica que los operadores de mutación usualmente poseen propiedades opuestas. Por ejemplo, los operadores de mutación “rand/1”, a menudo trae una fuerte capacidad de exploración en el dominio de búsqueda, pero tiene una baja velocidad de convergencia, por otro lado, el operador de mutación “best/1”, por lo general tiene una rápida velocidad de convergencia, pero es fácilmente atrapada en un óptimo local. Similarmente Plagianakos et al. [36] manifiesta que el operador de mutación “rand/2”, tiene habilidades de exploración máxima en individuos de su población, mientras que el operador de mutación “best/2” contiene características similares a “best/1”, sin embargo “best/2” tiene mejores capacidades de exploración que “best/1”, debido a que posee muchos más individuos seleccionados aleatoriamente. Como resultado usando un solo operador de mutación como en el original DE deja algunas restricciones como baja convergencia y quedar atrapado en un óptimo local. Para balancear entre la exploración global y las capacidades de explotación local, algunas variantes de DE han sido propuestas en los últimos años. Das et al. [32] propuso un esquema de mutación híbrido que combina linealmente cada exploración y el operador de mutación de explotación por un factor de peso. Mohamed and Sabry [37] presentan un nuevo algoritmo de evolución diferencial basado en la optimización con modificación de restricciones (COMDE). En este algoritmo, un nuevo operador, basado sobre el peso de diferentes vectores entre el mejor y peor individuo en una generación en particular, y este es combinado con el operador básico “rand/1”, donde solo 1 de los 2 es usado con una probabilidad del 0.5. Qin et al. [35] introduce un algoritmo sistema adaptativo propio DE (SaDE), en el cual la generación del vector trial su estrategia y su parámetro de control son valores ubicados a cada vector target en la actual generación basado en el aprendizaje de sus previas experiencias de soluciones potenciales. Tasgetiren et al. [38] presenta un trabajo de ensamble del algoritmo evolución diferencial (eDE) en el cual cada vector es asignado a uno de tres estrategias, incluyendo dos operadores de mutación diferentes y una variable de parámetro de búsqueda (VPS). Esta mejora demostró ser más efectiva que DE y algunas de sus variantes en términos de costo computacional y calidad de solución. Sin embargo, la mayoría de estos fue solo limitado a un benchmark en una prueba de funciones.

Bajo estas consideraciones, mejoramos el algoritmo de evolución diferencial basado en un esquema de mutación adaptativa, que mantiene un balance entre la exploración global y la explotación local, cuatro operadores de mutación son incluidos “rand/1”, “best/1”, “rand/2” y “best/2”, que serán adaptativamente usadas para la fase de mutación durante la fase de búsqueda. En cada generación dos de estos son escogidos según un esquema adaptativo basado en la desviación absoluta (denotado como delta) entre el mejor y la media de la función objetivo en previas generaciones. En las generaciones tempranas cuando el valor de delta es grande, se usan dos operadores de mutación “rand/1” y “rand/2” son aleatoriamente seleccionados con una tasa de 0.5/0.5 para explorar el dominio contenido en el óptimo global. Después de varias generaciones en el proceso de búsqueda, cuando la diversidad de la población está gradualmente estable y delta es pequeño, se emplean dos operadores de mutación “best/1” y “best/2” a una tasa de 0.5/0.5, para acelerar la tasa de convergencia del algoritmo. Note que el valor de delta es considerado

como un parámetro de control adaptativo que es comparado como un pequeño umbral del cual los 4 operadores serán utilizados. Más específicamente delta está definido como:

$$\delta = \left| \frac{f_{mean}}{f_{best}} - 1 \right|$$

Donde f_{best} es el valor de la función objetivo del mejor individuo y f_{mean} es la media de la función objetivo de la población.

El factor escalar F es generado aleatoriamente en el intervalo de $[0.4, 1.0]$ durante el proceso de optimización. El objetivo es crear la variedad de la búsqueda de dirección en ambos casos de δ ($\delta > \text{umbral}$ y $\delta < \text{umbral}$), el umbral es un criterio de valor escogido basado en el criterio de parada del algoritmo.

Técnica de selección elite para la fase de selección

Para el mecanismo de selección, este puede ser reconocido como una buena información no seleccionada de un individuo puede ser descuidado. Esto provoca que DE converja lentamente. De hecho, los buenos individuos a menudo contienen características útiles para la búsqueda en progreso. Para mantener una buena información para la próxima generación, la técnica de selección de elite, introducida en [39] es utilizada para la fase de selección. Este nuevo mecanismo se lo narra a continuación: primero la descendencia de la población, incluido todos los vectores trial generados después de finalizar la fase de cruce, es mezclado con un padre de la población P de los vectores target para crear un vector mezcla Q . Entonces NP el mejor individuo en Q es seleccionado para construir la nueva población para la próxima generación. Los mejores individuos de la población son siempre almacenados para la próxima generación. Obviamente esto ayuda a DE a obtener una mejor convergencia.

4. Algoritmos de solución

```

1: Generate the initial population
2: Evaluate the fitness for each individual in the population
3: while ( $\delta > \text{tolerance}$  and  $\text{MaxIter}$  is not reached) do
4:   for  $i = 1$  to  $NP$  do
5:      $j_{\text{rand}} = \text{randint}(1, D)$ 
6:      $CR = \text{rand}[0.7, 1.0]$ 
7:      $F = \text{rand}[0.4, 1.0]$ 
8:     for  $j = 1$  to  $D$  do
9:       if  $\text{rand}[0,1] < CR$  or  $j = j_{\text{rand}}$  then
10:        if  $\delta > \text{threshold}$  then
11:          if  $\text{rand} > 0.3$  then    % using "rand/1"
12:            Select randomly  $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i, \forall i \in \{1, 2, \dots, NP\}$ 
13:             $u_{i,j} = x_{r1,j} + F \times (x_{r2,j} - x_{r3,j})$ 
14:          else    % using "rand/2"
15:            Select randomly  $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq r_4 \neq r_5 \neq i, \forall i \in \{1, 2, \dots, NP\}$ 
16:             $u_{i,j} = x_{r1,j} + F \times (x_{r2,j} - x_{r3,j}) + F \times (x_{r4,j} - x_{r5,j})$ 
17:          end if
18:        else  $\delta \leq \text{threshold}$ 
19:          if  $\text{rand} > 0.3$  then    % using "best/1"
20:            Select randomly  $r_1 \neq r_2 \neq \text{best} \neq i, \forall i \in \{1, 2, \dots, NP\}$ 
21:             $u_{i,j} = x_{\text{best},j} + F \times (x_{r1,j} - x_{r2,j})$ 
22:          else    % using "best/2"
23:            Select randomly  $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq r_4 \neq \text{best} \neq i, \forall i \in \{1, 2, \dots, NP\}$ 
24:             $u_{i,j} = x_{\text{best},j} + F \times (x_{r1,j} - x_{r2,j}) + F \times (x_{r3,j} - x_{r4,j})$ 
25:          end if
26:        end if
27:      else
28:         $u_{i,j} = x_{i,j}$ 
29:      end if
30:    end for
31:    Evaluate the trial vector  $u_i$ 
32:  end for
33:  Do selection phase following section 4.2
34:  Define  $f_{\text{best}}, f_{\text{mean}}$ 
35:   $\delta = \left| \frac{f_{\text{mean}}}{f_{\text{best}}} - 1 \right|$ 
36: end while

```

Diagrama de Flujo



5. Experimentacion computacional

Con el objeto de alcanzar la mayor cobertura del area rectangular se definieron las siguientes restricciones:

Base del rectangulo= 500m
 Altura del rectangulo= 250m
 Factor de proteccion perimetro 5 %
 Radio maximo de cobertura=120 m
 Radio minimo=12 m
 N=100; % tamano de la poblacion
 ng=10000; % numero de generaciones
 Nb=20 % cantidad de inhibidores que se pueden emplear

No	area cubierta inhibidor %	area del centro de rehabilita- cion	menos 5 % de -area de proteccion	% de area cubierta	Numero de inhibidores
1	7,4383	12,5	11,875	60 %	8
2	7,4413	12,5	11,875	60 %	11
3	7,5038	12,5	11,875	60 %	10
4	7,3034	12,5	11,875	58 %	10
5	7,471	12,5	11,875	60 %	9
6	7,5291	12,5	11,875	60 %	8
7	7,5776	12,5	11,875	61 %	10
8	7,5242	12,5	11,875	60 %	8
9	7,5426	12,5	11,875	60 %	8
10	7,5592	12,5	11,875	60 %	9
11	7,5033	12,5	11,875	60 %	9
12	7,5259	12,5	11,875	60 %	9
13	7,5546	12,5	11,875	60 %	11
14	7,5842	12,5	11,875	61 %	9
15	7,6004	12,5	11,875	61 %	9
16	7,7183	12,5	11,875	62 %	9
17	7,5158	12,5	11,875	60 %	8
18	7,5382	12,5	11,875	60 %	10

No	area cubierta inhibidor %	area del centro de rehabilita- cion	menos 5 % de -area de proteccion	% de area cubierta	Numero de inhibidores
19	7,8638	12,5	11,875	63 %	10
20	8,1922	12,5	11,875	66 %	8

Max	66 %
Min	58 %
Promedio	61 %

No	area cubierta inhibidor %	area del centro de rehabilitacion	tiempo transcurrido (s)	% de $\frac{1}{2}$ area cubierta	Numero de inhibidores
1	6,7529	12,5	93.13	54 %	6
2	7,4171	12,5	99,32	59 %	8
3	7,1723	12,5	113,108	57 %	10
4	6,7022	12,5	96,29	54 %	8
5	6,0484	12,5	98,57	48 %	9
6	6,5174	12,5	96	52 %	9
7	6,8461	12,5	97	55 %	8
8	6,7698	12,5	93,11	54 %	6
9	7,0083	12,5	97,66	56 %	7
10	7,6007	12,5	97	61 %	9

Max	61 %
Min	48 %
Promedio	55 %

Los resultados de las pruebas realizadas en la primera fase sin usar mutacion adaptativa.

6. Conclusiones

En esta investigación, la mejora del algoritmo de evolución diferencial propuesta y aplicada para resolver problemas de optimización de cobertura de inhibidores de señal celular. Las mejoras fueron llevadas bajo un esquema de mutación adaptativa y selección, el nuevo esquema de selección es propuesto es usando operadores multi mutación, los cuales adaptativamente emplean los cuatro operadores de mutación, incluyendo “rand/1” “rand/2” “best/1” y “best/2” para seleccionar el vector target de la población. Este nuevo esquema ayuda a mantener efectivamente el balance entre la exploración global y la búsqueda local, para el proceso de búsqueda de evolución diferencial.

En la fase de selección la técnica elitista es usada para remplazar con la tradicional fase de selección original de DE con el propósito de incrementar la tasa de convergencia, lo que significa buenos individuos para la próxima selección.

Las dos versiones de differential evolution fueron empleadas, la original y la adaptativa, con una mejora de cobertura alrededor del 6% con la versión de differential evolution original.

Referencias

- [1] Y. G. Stoyan, "Mathematical methods for geometric design," in *Advances in CAD/CAM: Proceedings of PROLAMAT82*, Leningrad, USSR, May 1982, pp. 67–86, North-Holland, Amsterdam, The Netherlands, 2003.
- [2] P. G. Szabó, M. C. Markó, T. Csendes, E. Specht, L. G. Casado, and I. García, *New Approaches to Circle Packing in a Square: With Program Codes*, vol. 6 of *Springer Optimization and Its Applications*, Springer, New York, NY, USA, 2007.
- [3] M. Hifi and R. M'Hallah, "A dynamic adaptive local search algorithm for the circular packing problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 183, no. 3, pp. 1280–1294, 2007.
- [4] M. Hifi and R. M'Hallah, "Beam search and non-linear programming tools for the circular packing problem," *International Journal of Mathematics in Operational Research*, vol. 1, no. 4, 2009.
- [5] P. R. J. Ostergard, "Book review," *Computers & Operations Research*, vol. 36, pp. 276–278, 2008.
- [6] N. Mladenovic, F. Plastria, and D. Urošević, "Reformulation descent applied to circle packing problems," *Computers & Operations Research*, vol. 32, no. 9, pp. 2419–2434, 2005.
- [7] M. Locatelli and F. Schoen, "Efficient algorithms for large scale global optimization: Lennard-Jones clusters," *Computational Optimization and Applications*, vol. 26, no. 2, pp. 173–190, 2003.
- [8] A. Cassioli, M. Locatelli, and F. Schoen, "Dissimilarity measures for population-based global optimization algorithms," to appear in *Computational Optimization and Applications*.
- [9] Yu. G. Stoyan and G. Yas'kov, "A mathematical model and a solution method for the problem of placing various-sized circles into a strip," *European Journal of Operational Research*, vol. 156, no. 3, pp. 590–600, 2004.
- [10] Xu, Y., Duan, T., Chen, W., & Chen, J. (2017). Based on differential evolution to research the control problem of area-coverage in WSNs BT - 29th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2017, May 28, 2017 - May 30, 2017, 7298–7303. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2017.7978503>
- [11] Zhou, Y., Luo, Q., Chen, H., & Wu, J. (2013). Using Differential Evolution Invasive Weed Optimization for Solving Circle Packing Problem. *Advanced Science Letters*, 19(6), 1807–1810. <https://doi.org/10.1166/asl.2013.190601>
- [12] Lam, G. T. (2017). Considerations on Using Genetic Algorithms for the 2D Bin Packing Problem[202F?]: a General Model and Detected Difficulties, 303–308.
- Lall, S., Alfa, A. S., & Maharaj, B. T. (2015). Optimal Placement and Power Allocation for Jammers in Wireless Mesh Networks. 2015 IEEE 82nd Vehicular Technology Conference (VTC2015-Fall), 1–7. <https://doi.org/10.1109/VTCFall.2015.7391055>
- [13] Kuila, P., & Jana, P. K. (2014). A novel differential evolution based clustering algorithm for wireless sensor networks. *Applied Soft Computing Journal*, 25, 414–425. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.08.064>
- [14] López, C. O., & Beasley, J. E. (2011). A heuristic for the circle packing problem with a variety of containers. *European Journal of Operational Research*, 214(3), 512–525. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.04.024>
- [15] R. Eberhart, J. Kennedy, A new optimizer using particle swarm theory, *Micro Mach. Hum. Sci.* 1995. MHS '95 Proc. Sixth Int. Symp. 1995, pp. 39–43, <http://dx.doi.org/10.1109/MHS.1995.494215>.
- [16] D. Karaboga, B. Basturk, On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm, *Appl. Soft Comput.* 8 (2008) 687–697, <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2007.05.007>.
- [17] X.-S. Yang, S. Deb, Cuckoo search via Levy flights, *Nat. Biol. Inspired Comput.* 2009. NaBIC 2009 World Congr. (2009) 210–214, <http://dx.doi.org/10.1109/NABIC.2009.5393690>.
- [18] R. Storn, K. Price, Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, *J. Glob. Optim.* 11 (1997) 341–359, <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008202821328>.
- [19] P. Civicioglu, E. Besdok, A Conceptual Comparison of the Cuckoo-Search, Particle Swarm Optimization, Differential Evolution and Artificial Bee Colony Algorithms, 2013, <http://dx.doi.org/10.1007/s10462-011-9276-0>.

8. H. Liu, Z. Liu, Y. Chen, W. Xu, "Determining the Position of a Jammer Using a Virtual-Force Iterative Approach", *Wireless Networks*, vol. 17, pp. 531-547, 2010.

[CrossRef](#) [Google Scholar](#)

9. Z. Liu, H. Liu, W. Xu, Y. Chen, "Exploiting Jamming-Caused Neighbor Changes for Jammer Localization", *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 547-555, Mar. 2012.

[View Article Full Text: PDF](#) (828KB) [Google Scholar](#)

22. H. B. Yilmaz, T. Tugcu, S. Bayhan, "Radio Environment Map as Enabler for Practical Cognitive Radio Networks", *IEEE Communications Magazine*, pp. 162-169, 2013.

Show Context [View Article Full Text: PDF](#) (549KB) [Google Scholar](#)

23. S. Kim, H. Jeon, H. Lee, J. Ma, "Robust transmission power and position estimation in cognitive radio", *International Conference on Information Networking (ICOIN 2007)*, pp. 719-728, January 23-25, 2007. Show Context [Google Scholar](#)~