**--Caso 2**

En este segundo caso de estudio, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

* Sensores con posiciones aleatorias fijas.
* Tres dimensiones.
* Carga de al máximo para todos los sensores.
* Antenas isotrópicas. Antenas dipolo.
* *φ* = 0º, *φ* = 45º. *θ* = 45º.
* Cantidad de sensores: 2, 5, 10, 20, 50.

Este caso difiere con el caso 1 en que el escenario será distinto. Ahora, en lugar de disponer los sensores en un plano (XY de 30x30), sino que se dispondrán en tres dimensiones (3D, 30x30x30). Este caso es similar a un escenario que se puede dar en la realidad, pues difícilmente encontraríamos un caso real en que los sensores se encuentren perfectamente alineados en un plano. De este modo, se desea comprobar si el beamforming es capaz de funcionar y optimizar la vida de sensores que se encuentren distribuidos en tres dimensiones con cargas de batería al máximo e iguales entre sí, para antenas isotrópicas y antenas dipolo.

A continuación, al igual que en el apartado anterior, este apartado se dividirá en distintas secciones correspondientes a las distintas cantidades de clusters.

**--Clusters 1**

Con la variable *clusters\_fijados* = 1, se representan algunos de los diagramas de radiación de este caso, para 2, 5 y 20 sensores. Dado que el motivo de presentar estos diagramas es mostrar cómo de bien funciona el beamforming para apuntar a una dirección deseada, carece de sentido hacer la representación cuando se tiene más de 1 cluster (se debería representar un diagrama de radiación para cada cluster), pues para el caso de 2 sensores no sería posible y para el caso de 20 sensores, dadas las conclusiones del apartado anterior, se espera que el resultado sea peor (en términos de eficiencia). Además, si se representara el diagrama de radiación con 2 clusters de 20 sensores, realmente estaríamos representando el diagrama de radiación de solo 10 sensores de uno de los clusters.

 

Fig. XXX100. Caso 2, 2 sensores, antenas isotrópicas. *ϕ* = 0º, *θ* = (º) Fig. XXX1. Caso 2, 2 sensores, antenas dipolo. *ϕ* = 0º, *θ* = (º)

 

Fig. . Caso 2, 5 sensores, antenas isotrópicas. *ϕ* = 0º, *θ* = (º) Fig. XXX1. Caso 2, 5 sensores, antenas dipolo. *ϕ* = 0º, *θ* = (º)

 

Fig. . Caso 2, 20 sensores, antenas isotrópicas. *ϕ* = 0º, *θ* = (º) Fig. XXX1. Caso 2, 20 sensores, antenas dipolo. *ϕ* = 0º, *θ* = (º)

Comparando estos diagramas de radiación con los de las figuras XXX0-XXX2 (poner el XXX correspondiente a 20 sensores), vemos que ha aumentado la cantidad de lóbulos. En aquel caso, solo existían lóbulos principales muy anchos. Sin embargo, en este caso, para 2 sensores, vemos que existen hasta 13 lóbulos principales estrechos para la antena isotrópica y unos 10 lóbulos para la antena dipolo. En referencia al caso en que hay 5 sensores, también ha aumentado la cantidad de lóbulos. En cuanto al caso de 20 sensores, vemos tan solo un lóbulo principal para la antena isotrópica y dos lóbulos principales para la antena dipolo. La posible causa de este aumento de lóbulos es la distribución de los sensores de manera tridimensional, en contraposición al caso anterior, en la que la distribución era bidimensional. Esto hace que los nodos no estén tan idealmente situados y, por tanto, el algoritmo que lleva a cabo el beamforming no pueda hacer que exista un único lóbulo principal.

Sin embargo, analizando las seis figuras (figuras XXX100-XXX105), vemos que en todos los casos uno de los lóbulos principales apunta en la dirección de radiación deseada. No solo eso, sino que además dicho lóbulo es el de mayor potencia en todos los casos. De este modo, podemos afirmar que es posible que el beamforming se lleve a cabo adecuadamente cuando los nodos se encuentran distribuidos en un escenario tridimensional.

A pesar de ello, aún no hemos visto si la eficiencia supera el valor unidad, lo cual es indicativo de que se cumple el objetivo de este proyecto. A continuación, se presentan los resultados que se han obtenido tras ejecutar 600 realizaciones de los distintos experimentos pertenecientes a este caso.



**XXX2000**

Analizando las gráficas, podemos ver que en todas y cada una de las realizaciones, la eficiencia es superior a la unidad. De este modo, se consigue el objetivo de este proyecto, pues se consigue prolongar la vida de las baterías usando el beamforming para escenarios en los que los sensores se encuentran distribuidos en un espacio tridimensional y con la carga de las baterías al máximo.

Por lo general, al igual que en el caso anterior, vemos que no importa el ángulo en que se desea radiar ni el tipo de antena usada, pues para cada cantidad de sensores se obtienen prácticamente los mismos resultados.

A continuación, se muestran unas tablas similares a las presentadas en el apartado anterior, que pretenden resumir la figura XXX2000.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Eficiencia, antenas isotrópicas** | | | | **Eficiencia, antenas dipolo** | | | |
| ***φ* = 0** | | ***φ* = 45º** | | ***φ* = 0** | | ***φ* = 45º** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** |
| **2** | 1.809 | 0.046 | 1.798 | 0.062 | 1.848 | 0.057 | 1.811 | 0.079 |
| **5** | 4.186 | 0.163 | 4.208 | 0.141 | 4.357 | 0.169 | 4.285 | 0.158 |
| **10** | 6.937 | 0.441 | 6.910 | 0.438 | 7.294 | 0.470 | 7.146 | 0.538 |
| **20** | 10.597 | 0.980 | 10.521 | 1.023 | 10.978 | 0.950 | 10.572 | 1.027 |
| **50** | 10.413 | 1.307 | 11.340 | 1.472 | 11.307 | 1.174 | 11.325 | 1.193 |

Tabla . Caso 2. Clusters: 1.

|  |  |
| --- | --- |
| **Resultados globales** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** |
| **2** | 1.817 | 0.064 |
| **5** | 4.259 | 0.170 |
| **10** | 7.072 | 0.493 |
| **20** | 10.667 | 0.999 |
| **50** | 11.096 | 1.336 |

Tabla . Caso 2. Resultados globales. Clusters: 1.

Analizando las tablas, vemos que los valores medios de eficiencia que se han obtenido son mejores para antenas dipolo que para antenas isotrópicas, con respecto al mismo ángulo en que se desea radiar. Probablemente, la causa es que una antena dipolo que no usa beamforming tendrá menor tiempo de vida si desea radiar en un ángulo que no es el máximo permitido por su diagrama de radiación. De esta forma, podemos afirmar que usar el algoritmo implementado con antenas tipo dipolo (que son bastante comunes) es incluso más beneficioso que usar antenas isotrópicas (que son ideales).

En cuanto a este tipo de escenario, se podría presentar alguna duda en cuanto a si sería posible conseguir que el algoritmo funcionara en cualquier ángulo, pues los sensores ya no están dispuestos en un plano. Sin embargo, vemos que el algoritmo funciona independientemente del ángulo en que se desea radiar. De este modo, es posible afirmar que el algoritmo funcionará con independencia del ángulo en el que deseemos radiar.

En cuanto a los valores de eficiencia obtenidos, todos superan la unidad con creces, incluso cuando usamos tan solo dos sensores. En todos los casos, el algoritmo es capaz de superar la barrera que supone que al usar el beamforming los sensores tengan que radiar durante un tiempo *X*·*T*, siendo *X* la cantidad de sensores y *T* el tiempo que tendría que radiar un sensor que no usa beamforming para transmitir la información. Esto ya ocurría en el apartado anterior y, dado que en algunos casos la eficiencia supera el 1000%, podemos concluir que con este tipo de escenario (carga de las baterías al máximo y 3D) y el tipo de escenario del caso anterior (carga de las baterías al máximo y 2D) se conseguirá el objetivo de este proyecto, pues con una cantidad de 20 sensores (por ejemplo), se consigue prolongar el tiempo de vida de los sensores (como mínimo) más de 10 veces.

Con respecto a la tendencia observada en el caso anterior, en el que la eficiencia para 50 sensores se reducía frente a la eficiencia de 20 sensores, esa tendencia parece no estar presente en este caso. Solamente aparece para antenas isotrópicas y para el ángulo phi = 0º, theta = 45º. Para ese experimento, la eficiencia para 50 sensores se reduce ligeramente con respecto a la de 20 sensores. Para el resto de experimentos, la eficiencia es claramente superior. Así pues, no podemos sacar más conclusiones con respecto a este efecto con los experimentos presentados en este caso. En futuros casos, veremos si se presenta o no.

**---Clusters 2**

Al igual que en el apartado anterior, se decide comprobar si es conveniente o no dividir los sensores en dos clusters que radien de forma independiente en la misma dirección. Para ello, hacemos que la variable *clusters\_fijados* sea igual a 2. De nuevo, se decide hacerlo solo para los experimentos en los que se tienen 10, 20 y 50 sensores.



Se presentan ahora las tablas que resumen estas gráficas:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Eficiencia, antenas isotrópicas** | | | | **Eficiencia, antenas dipolo** | | | |
| ***φ* = 0** | | ***φ* = 45º** | | ***φ* = 0** | | ***φ* = 45º** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** |
| **10** | 3.568 | 0.456 | 3.501 | 0.451 | 3.651 | 0.662 | 3.666 | 0.380 |
| **20** | 5.019 | 0.821 | 5.033 | 1.027 | 5.179 | 0.629 | 4.993 | 0.859 |
| **50** | 5.420 | 0.775 | 5.650 | 0.853 | 6.178 | 0.897 | 5.900 | 0.770 |

Tabla. Caso 2. Clusters: 2.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Resultados globales 2 clusters** | | **Respecto a 1 cluster** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | **%** |
| **10** | 3.597 | 0.497 | -3.475 | -49.140 |
| **20** | 5.056 | 0.838 | -5.611 | -52.603 |
| **50** | 5.787 | 0.863 | -5.309 | -47.848 |

Tabla XXX120. Caso 2. Resultados globales. Clusters: 2.

Si analizamos la tabla XXX120, comparando los resultados con 2 clusters y los resultados con 1 cluster, vemos que claramente es mejor usar un solo cluster, pues la eficiencia se reduce en un 50%, aproximadamente. De este modo, es aconsejable evitar usar dos clusters cuando se tenga un caso con un escenario similar al de estos experimentos.

De nuevo, la eficiencia cuando se tienen 50 sensores divididos en dos clusters es mayor que la eficiencia cuando se tienen 20 sensores divididos en dos clusters, de forma que no se da el efecto que se presentaba en el caso de estudio anterior.

En el apartado anterior se observó el siguiente efecto. La eficiencia obtenida al usar 2 clusters y 10 sensores no era parecida a la eficiencia al usar 1 cluster y 5 sensores, cuando cabría esperar justo lo contrario. Veamos si ese efecto se da en este caso de estudio. En la siguiente figura se muestra una gráfica semejante a la mostrada en la figura XXX3000.



De nuevo, se reproduce el mismo efecto: la eficiencia obtenida con 10 sensores y 2 clusters se encuentra por debajo de la eficiencia obtenida con 5 sensores y 1 cluster, igual que con 20 sensores y 10 sensores. Las causas, al igual que en el caso anterior, podrían ser la cantidad de generaciones y que el algoritmo que organiza los vectores según la distancia no sea el más apropiado.

**---Clusters 3**

A continuación, se estudiarán los resultados obtenidos para las condiciones de este caso de estudio, dividiendo los sensores en 3 clusters, fijando la variable *clusters\_fijados* = 3. En la siguiente figura, se muestran los resultados de eficiencia obtenidos, tan solo para 20 y 50 sensores, pues carece de sentido dividir 10 sensores en 3 clusters.



XXX6000

Las tablas resumen para las gráficas de la figura XXX6000 son:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Eficiencia, antenas isotrópicas** | | | | **Eficiencia, antenas dipolo** | | | |
| ***φ* = 0** | | ***φ* = 45º** | | ***φ* = 0** | | ***φ* = 45º** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** |
| **20** | 3.008 | 0.559 | 3.042 | 0.662 | 3.369 | 0.621 | 3.314 | 0.668 |
| **50** | 3.398 | 0.654 | 3.451 | 0.730 | 3.843 | 0.837 | 3.895 | 0.682 |

Tabla . Caso 2. Clusters: 3.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Resultados globales 3 clusters** | | **Respecto a 1 cluster** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | **%** |
| **20** | 3.184 | 0.641 | -7.484 | -70.156 |
| **50** | 3.647 | 0.754 | -7.450 | -67.135 |

Tabla XXX32. Caso 2. Resultados globales. Clusters: 3.

Analizando esta última tabla (XXX32), vemos que no es nada beneficioso dividir los sensores en 3 clusters. Comparando los valores obtenidos con respecto a los valores que se obtienen al utilizar solo 1 cluster, vemos que dividiendo los sensores en 3 clusters, la eficiencia llega a reducirse en más de un 65%.

**---Clusters optimizados**

Por último, al igual que en el apartado anterior, dejaremos que el algoritmo optimice la cantidad de clusters, ajustando la variable *clusters\_fijados* = 0. Solo se han tenido en cuenta las cantidades de sensores 10, 20 y 50. Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes figuras. La primera de ella muestra los valores de eficiencia para el ángulo theta = 45º, phi = 0º; la segunda, para el ángulo theta = 45º, phi = 45º.



XXX880



XXX881

Las tablas que resumen las gráficas son:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Eficiencia, antenas isotrópicas** | | | | **Eficiencia, antenas dipolo** | | | |
| ***φ* = 0** | | ***φ* = 45º** | | ***φ* = 0** | | ***φ* = 45º** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** |
| **10** | 6.942 | 0.443 | 6.936 | 0.569 | 6.990 | 1.292 | 6.964 | 0.800 |
| **20** | 9.356 | 2.067 | 9.651 | 2.031 | 9.726 | 2.348 | 9.142 | 2.635 |
| **50** | 8.335 | 2.509 | 8.271 | 2.950 | 7.839 | 3.666 | 8.346 | 3.560 |

Tabla. Caso 2. Clusters: optimizados.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Resultados globales clusters optimizados** | | **Respecto a 1 cluster** | | | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | **% (media)** | ***σ*** | **%**  **(*σ)*** |
| **10** | 6.958 | 0.831 | -0.114 | -1.611 | +0.337 | +68.3 |
| **20** | 9.469 | 2.267 | -1.198 | -11.232 | +1.267 | +126.8 |
| **50** | 8.198 | 3.172 | -2.899 | -26.122 | +1.837 | +137.5 |

Tabla XXX890. Caso 2. Resultados globales. Clusters: optimizados.

Si analizamos las gráficas XXX880 y XXX881, vemos que para el caso de 10 sensores y antenas isotrópicas, el algoritmo de optimización de clusters ha funcionado correctamente, pues ha situado a todos los sensores en el mismo cluster. Sin embargo, en algunas de las realizaciones, el algoritmo ha dividido esos 10 sensores en más de 1 cluster para antenas dipolo. A pesar de ello, la eficiencia media se reduce ligeramente con respecto a cuando fijamos la variable *clusters\_fijados* = 1 (-1.6%).

Observando de nuevo las gráficas para 20 y 50 sensores, vemos que el algoritmo falla, pues en múltiples realizaciones divide los sensores en más de un cluster. La diferencia con respecto a los resultados obtenidos para un solo cluster es notable: la eficiencia se reduce en un 11.2% para 20 sensores y se reduce en un 26% para 50 sensores. En ambos casos, la dispersión de los datos es muy destacable: la desviación típica aumenta un 126% para 20 sensores y un 137% para 50 sensores. El mal funcionamiento del algoritmo de división en clusters hace incluso que la eficiencia para 50 sensores sea inferior a la eficiencia de 20 sensores.

De este modo, concluimos que es siempre mejor no dividir los sensores en clusters, pues ello hará que se reduzca la eficiencia notablemente. La causa por la cual algoritmo de optimización de los clusters puede no funcionar adecuadamente ya se comentó en el caso de estudio anterior: el peso de la variable que controla la cantidad de clusters se reduce conforme aumenta el número de sensores. Esto se comprueba viendo las gráficas obtenidas para 50 sensores: existen casos en los que la cantidad de clusters alcanza los 50 clusters, haciendo que la eficiencia se reduzca incluso por debajo de la unidad, pues existen clusters con un solo sensor.

La conclusión de este caso de estudio es semejante a la del apartado anterior. El algoritmo implementado no funciona adecuadamente con 200 generaciones 100 de población para los algoritmos genéticos para todas las cantidades de sensores, pues funciona adecuadamente para una cantidad reducida de sensores y no funciona correctamente para cantidades elevadas de sensores.

**--Comparativa de clusters**

Del mismo modo que en el caso de estudio anterior, en este apartado se realizará una comparativa entre los resultados de eficiencia obtenidos para los distintos clusters. En la figura siguiente se muestra dicha comparativa.



De nuevo, al igual que en el caso de estudio anterior, la eficiencia obtenida al agrupar los sensores en 1 cluster es superior al resto. Al agrupar los sensores en 2 y 3 clusters, la eficiencia se reduce apreciablemente. Al seleccionar que se optimice la cantidad de clusters, la eficiencia también se reduce, de modo que esta optar por esta opción es descartable.

Al contrario que en el caso de estudio anterior, vemos que la eficiencia para 50 sensores es superior a la eficiencia obtenida con 20 sensores. La diferencia entre ambos es que en el caso de estudio anterior se consideraba un escenario en 2D y en este caso de estudio el escenario es en 3D. Sin embargo, se analizará este efecto en el apartado XXX\_CASOS\_NUEVOS.

Para concluir este caso de estudio, en caso de considerar un escenario como el que aquí se presenta (carga de batería igual para todos los sensores y 3D), la mejor opción es no dividir los sensores en clusters, pues para ese experimento la eficiencia es la mayor. Con 50 sensores, el tiempo de vida de los sensores puede llegar a prolongarse hasta 11 veces más que aquellos que no usen beamforming.