**--Caso 3**

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

* Sensores con posiciones aleatorias fijas.
* Dos dimensiones, plano XY.
* Carga de batería aleatoria 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 la distinta carga de batería de los sensores. En este caso, la carga de la batería de cada nodo se decidirá aleatoriamente (variable aleatoria uniforme) en el intervalo [0.2, 1], con media igual a 0.6. Este escenario es mucho más realista que el del caso 1, pues es muy difícil garantizar en un caso real que la batería de todos los sensores esté cargada al máximo y que ese máximo sea el mismo para todas las baterías. De este modo, en este caso se quiere hacer un estudio de la eficiencia cuando las baterías tienen cargas distintas.

Veamos algunos de los diagramas de radiación que se obtienen para 2, 5 y 20 sensores y comprobemos si se aprecian diferencias notables con respecto a los anteriores casos.

 

Fig. . Caso 3, 2 sensores, antenas isotrópicas. *ϕ* = 0º, *θ* = (º) Fig.. Caso 3, 2 sensores, antenas dipolo. *ϕ* = 0º, *θ* = (º)

 

Fig. . Caso 3, 5 sensores, antenas isotrópicas. *ϕ* = 0º, *θ* = (º) Fig.. Caso 3, 5 sensores, antenas dipolo. *ϕ* = 0º, *θ* = (º)

 

Fig. . Caso 3, 20 sensores, antenas isotrópicas. *ϕ* = 0º, *θ* = (º) Fig.. Caso 3, 20 sensores, antenas dipolo. *ϕ* = 0º, *θ* = (º)

Comparando estos diagramas de radiación obtenidos en el caso de estudio 1 (sensores con carga al máximo en 2D), es decir, las figuras XXX0 yXXX1 para el caso de 2 sensores, las figuras XXX6 y XXX7 para el caso de 5 sensores y las figuras XXX20 y XXX21 para el caso de 20 sensores, podemos ver que son bastante parecidos. Para el caso en que se tienen dos sensores y antenas isotrópicas, los diagramas son iguales; del mismo modo ocurre con antenas dipolo. Para el caso en que se tienen 5 sensores y antenas isotrópicas, ha aparecido en este caso un lóbulo para theta = 90º, pero los demás lóbulos principales son muy parecidos; con antenas dipolo, los diagramas son prácticamente iguales. Para 20 sensores, ambos diagramas son muy similares.

Sin embargo, si comparamos los diagramas con los del caso de estudio 2 (sensores con carga al máximo en 3D), es decir, figuras XXX100-XXX105 para 2, 5 y 20 sensores, los diagramas de radiación son muy distintos. En aquel caso, vimos que también eran muy distintos a los diagramas del caso 1 y se concluyó que la causa principal era que los sensores no estaban tan idealmente distribuidos en el espacio, pues pasaban de estar situados en un plano a estar situados en un volumen. Este argumento parece ganar peso a la vista de los resultados de este caso de estudio. Dado que vuelven a estar en 2D y los diagramas son parecidos a los del caso 1 y muy distinto a los del caso 2, que están en 3D, podemos concluir que la posición relativa entre sensores puede llegar a influir mucho en su diagrama de radiación, pues pasar de dos a tres dimensiones hace que aparezcan numerosos lóbulos.

A pesar de todo, vemos que el diagrama de radiación presenta lóbulos principales en la dirección deseada, de modo que el beamforming está actuando adecuadamente.

**--Clusters 1**

Del mismo modo que en apartados anteriores, se representarán las gráficas que muestran los resultados de eficiencia para distintas cantidades de sensores, antenas y ángulo en los que se desea radiar. La primera de estas gráficas mostrará los resultados para el caso en que los sensores se agrupen en 1 cluster.



Analizando las distintas gráficas, vemos que resulta indistinto el ángulo en que se desee radiar o el tipo de antena usada, pues se obtienen los mismos valores medios en todos los casos. Vemos que, dado este escenario, conseguimos el objetivo perseguido en este proyecto, es decir, que la eficiencia sea superior a 1. En todos los casos se da este hecho. Así, podemos afirmar que es posible prolongar la vida de los sensores en escenarios en los que los sensores estén situados en un plano y la carga de sus baterías sea distinta.

Para resumir las gráficas, se presentan las mismas tablas que en apartados anteriores.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **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** | 1.797 | 0.082 | 1.802 | 0.095 | 1.803 | 0.059 | 1.812 | 0.096 |
| **5** | 4.477 | 0.337 | 4.439 | 0.357 | 4.437 | 0.303 | 4.429 | 0.282 |
| **10** | 9.640 | 1.499 | 9.637 | 1.347 | 9.857 | 1.862 | 9.747 | 1.176 |
| **20** | 16.027 | 2.745 | 16.406 | 3.276 | 15.913 | 3.440 | 15.976 | 3.673 |
| **50** | 15.813 | 2.924 | 16.265 | 3.415 | 15.435 | 2.957 | 15.158 | 2.620 |

Tabla . Caso 3. Clusters: 1.

|  |  |
| --- | --- |
| **Resultados globales** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** |
| **2** | 1.803 | 0.084 |
| **5** | 4.446 | 0.318 |
| **10** | 9.720 | 1.476 |
| **20** | 16.080 | 3.265 |
| **50** | 15.668 | 2.984 |

Tabla . Caso 3. Resultados globales. Clusters: 1.

Si analizamos las tablas, vemos que en la mayoría de los casos la eficiencia media obtenida con antenas isotrópicas es ligeramente superior que la obtenida con antenas dipolo. Sin embargo, esta diferencia es muy pequeña y los resultados son muy parecidos. Algo destacable es que la dispersión de los datos es bastante elevada con respecto a la de los casos anteriores, incluso la desviación típica para 20 sensores es mayor que para 50 sensores. Este aumento de dispersión probablemente esté debido a que exista gran diferencia entre unas realizaciones y otras, lo cual estará causado por la distinta carga de las baterías (aleatoria en todas las realizaciones).

Al igual que en el primer caso de estudio en el que la eficiencia de 20 sensores se encontraba por encima de la eficiencia de 50 sensores, en este caso este hecho vuelve a ocurrir. La causa probable sería el tiempo que necesitan los sensores para transmitir (*X·T*), que aumenta con la cantidad de sensores pertenecientes al cluster. Las condiciones de aquel caso eran parecidas a este en cuanto a la disposición de los sensores: en ambos casos los sensores están en un plano. Sin embargo, en el caso 2, en el que los sensores estaban distribuidos tridimensionalmente, la eficiencia aumentaba conforme aumentaba la cantidad de sensores. De esta forma, a la espera del análisis del caso de estudio 4, podemos decir que la eficiencia con 20 sensores será mayor que la eficiencia con 50 sensores para aquellos casos en los que estén distribuidos en un plano.

**---Clusters 2**

A continuación, del mismo modo que en apartados anteriores, se estudiarán los resultados obtenidos cuando tengamos un total de 2 clusters, mediante la variable *clusters\_fijados* = 2. Tan solo se realizará el experimento para 10, 20 y 50 sensores, pues carece de sentido fijar 2 clusters para 2 o 5 sensores.



Observando las gráficas, vemos que la eficiencia aumenta a medida que aumenta la cantidad de sensores. Veamos las tablas que resumen las 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** | 5.117 | 1.069 | 5.122 | 1.124 | 5.085 | 1.121 | 4.776 | 1.351 |
| **20** | 8.960 | 1.734 | 8.412 | 1.842 | 8.345 | 1.601 | 7.917 | 1.258 |
| **50** | 9.740 | 1.763 | 10.581 | 2.067 | 9.887 | 2.003 | 10.073 | 2.178 |

Tabla. Caso 3. Clusters: 2.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Resultados globales 2 clusters** | | **Respecto a 1 cluster** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | **%** |
| **10** | 5.025 | 1.166 | -4.695 | -48.303 |
| **20** | 8.409 | 1.646 | -7.672 | -47.709 |
| **50** | 10.070 | 2.009 | -5.597 | -35.724 |

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

Al igual que con 1 cluster, en la mayoría de casos, la eficiencia para antenas isotrópicas es algo mayor que para antenas dipolo, aunque la diferencia es bastante reducida.

Con 1 cluster, la eficiencia para 50 sensores se encontraba por debajo de la eficiencia obtenida para 20 sensores. Sin embargo, al dividir los sensores en 2 clusters distintos, la eficiencia obtenida con 50 sensores se encuentra por encima de la de 20 sensores. A pesar de todo, con 2 clusters, la eficiencia para 10 y 20 sensores se ha reducido en más del 45% y la eficiencia para 50 sensores se ha reducido en un 50%. De este modo, resulta inviable dividir los sensores en 2 clusters mediante el algoritmo implementado, pues la eficiencia se reduce mucho.

De la misma forma que en apartados anteriores, cabría esperar que la eficiencia con 20 sensores y 2 clusters sea parecida a la eficiencia con 10 sensores y 1 cluster. En la siguiente figura, se representa el efecto que cabría esperar y el resultado obtenido.



De manera contraria a la de los apartados anteriores, vemos que la tendencia con 2 clusters obtenida (línea roja) supera para el caso de 10 sensores a la tendencia con 2 clusters esperada (línea verde), lo cual indicaría que el algoritmo de división en clusters funciona correctamente. Sin embargo, para 20 sensores, se reproduce el mismo efecto que en los casos anteriores.

La causa más probable de este hecho es que la carga de los sensores es distinta y esto hace que la eficiencia pueda aumentar. En el siguiente caso de estudio, veremos si ocurre lo mismo.

**---Clusters 3**

A continuación, se establece la variable *clusters\_fijados* = 3, de modo que ahora tendremos 3 clusters, y se analizan los resultados obtenidos.



Ahora, se presentarán 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*** |
| **20** | 5.489 | 1.207 | 5.738 | 1.297 | 5.721 | 1.145 | 5.196 | 1.294 |
| **50** | 6.409 | 1.432 | 6.960 | 2.013 | 6.099 | 1.174 | 6.487 | 1.502 |

Tabla . Caso 3. Clusters: 3.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Resultados globales 3 clusters** | | **Respecto a 1 cluster** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | **%** |
| **20** | 5.536 | 1.242 | -10.545 | -65.574 |
| **50** | 6.489 | 1.571 | -9.179 | -58.584 |

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

A la vista de estas tablas, cabe destacar lo mucho que se reduce la eficiencia con respecto a los resultados obtenidos para 1 cluster: un 58% para 50 sensores y un 65% para 20 sensores. A pesar de ello, la eficiencia con 50 sensores vuelve a ser superior que con 20 sensores. De este modo, vemos que no es una buena alternativa dividir los sensores en 3 clusters.

**---Clusters optimizados**

Finalmente, a continuación se estudiará qué ocurre si permitimos que el algoritmo decida la cantidad de clusters óptima para obtener los mejores resultados en términos de eficiencia. Al igual que en apartados anteriores, se mostrarán dos figuras con las gráficas obtenidas, una para theta = 45º, phi = 0º y otra para theta = 45º, phi = 45º, para 10, 20 y 50 sensores, dado que no tendría sentido dividir en clusters 2 y 5 sensores.



XXX222



XXX223

Las tablas obtenidas a partir de las gráficas se muestran a continuación.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **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** | 9.456 | 1.933 | 9.432 | 2.048 | 9.040 | 2.692 | 9.396 | 2.376 |
| **20** | 14.041 | 4.041 | 13.404 | 5.299 | 13.041 | 4.785 | 13.720 | 4.397 |
| **50** | 9.892 | 5.467 | 10.193 | 6.516 | 11.699 | 6.679 | 11.561 | 6.289 |

Tabla. Caso 3. Clusters: optimizados.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Resultados globales clusters optimizados** | | **Respecto a 1 cluster** | | | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | **% (media)** | ***σ*** | **%**  **(*σ)*** |
| **10** | 9.331 | 2.259 | -0.389 | -4.001 | +0.783 | +53.0 |
| **20** | 13.551 | 4.610 | -2.529 | -15.727 | +1.345 | +41.2 |
| **50** | 10.836 | 6.228 | -4.831 | -30.837 | +3.244 | +108.7 |

Tabla XXX224. Caso 3. Resultados globales. Clusters: optimizados.

Analizando las gráficas XXX222 y XXX223, vemos que la cantidad de clusters óptima que el algoritmo considera conveniente es 1 solo cluster en la mayoría de los casos. En algunos de ellos, considera más de uno. Viendo la tabla XXX224, podemos darnos cuenta de que lo óptimo sería dejar esos 10 sensores en un cluster, pues la eficiencia se reduce en un 4%. De hecho, vemos que justo en las realizaciones en las que la cantidad de clusters no es 1, la eficiencia se reduce.

En cuanto a 20 y 50 sensores, en algunas de las realizaciones, el algoritmo optimiza la cantidad de clusters hasta tener prácticamente la misma cantidad de sensores que de clusters. Obviamente, esto hace que la eficiencia se reduzca, incluso por debajo de la unidad. Este mismo hecho se producía también en los casos de estudio anteriores.

La causa por la cual el algoritmo no divide correctamente los sensores en los clusters más apropiados ya se comentó en apartados anteriores: el peso de la variable que controla la cantidad de clusters en la optimización se reduce conforme aumenta la cantidad de sensores.

**--Comparativa de clusters**

De nuevo, al igual que en los casos de estudio 1 y 2, se llevará a cabo una comparativa de la eficiencia en función del número de clusters y la cantidad de sensores. Los resultados se muestran en la siguiente figura.



Como vemos, la eficiencia obtenida cuando se agrupan todos los sensores en 1 cluster es claramente superior a la obtenida a cuando se divide en varios clusters. Cuando se dividen en 2 y 3 clusters, la eficiencia se ve reducida significativamente. Usar clusters optimizados hace que se reduzca la eficiencia, de modo que podemos afirmar que el algoritmo no actúa adecuadamente a la hora de optimizar la cantidad de clusters. En los distintos casos de estudio se ha comentado la causa de este problema es que el peso de la variable que controla la cantidad de clusters se reduce a medida que aumenta la cantidad de sensores. Por ello, para 10 sensores, por ejemplo, la eficiencia se reduce ligeramente, mientras que para 20 y 50 sensores esta reducción es mucho mayor.

Al igual que en el caso de estudio 1, la eficiencia para 50 sensores se ha reducido con respecto a la de 20 sensores. La principal similitud con respecto a ese caso es que los escenarios están en 2D. En el caso de estudio 2, el escenario está en 3D y la eficiencia para 50 sensores era mayor que para 20 sensores.

En conclusión, en este caso de estudio en el que se considera que la carga de la batería de los sensores es distinta para cada uno de ellos y se encuentran colocados aleatoriamente en un plano, el tiempo de vida de las baterías cuando se distribuyen todos los sensores en un solo cluster se puede llegar a prolongar hasta 16 veces más que los tiempos de vida de los sensores que no usen la tecnología presentada en este proyecto.