**--Caso 4**

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

* Sensores con posiciones aleatorias fijas.
* Tres dimensiones.
* 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.

En este caso, al contrario que en los demás, se considera un escenario tridimensional y carga de las baterías aleatoria para todos los sensores. Recordemos que en los dos primeros casos se consideraba un escenario en el cual la carga de la batería de los sensores era la máxima y era la misma para todos, para dos y tres dimensiones, y el tercer caso de estudio era un escenario bidimensional con carga de la batería aleatoria.

Al igual que en el apartado anterior, la carga de la batería será aleatoria (variable aleatoria uniforme) en el intervalo [0.2, 1], con media igual a 0.6. Este escenario pretende presentar el caso más realista que se encuentra en la realidad, con todos los sensores distribuidos en un espacio tridimensional, con cargas de la batería que no tienen por qué ser todas iguales ni estar al máximo.

En los casos en los que se tenían escenarios en 2D, los diagramas de radiación tenían pocos lóbulos y muy anchos. En el diagrama de radiación del escenario en 3D, vimos que aparecían múltiples lóbulos secundarios, aunque el lóbulo principal siempre apuntaba en la dirección en la que se deseaba radiar. Veamos los diagramas de radiación de este caso para 2, 5 y 20 sensores.

 

Fig. . Caso 4, 2 sensores, antenas isotrópicas. *ϕ* = 0º, *θ* = (º) Fig.. Caso 4, 2 sensores, antenas dipolo. *ϕ* = 0º, *θ* = (º)

 

Fig. . Caso 4, 5 sensores, antenas isotrópicas. *ϕ* = 0º, *θ* = (º) Fig.. Caso 4, 5 sensores, antenas dipolo. *ϕ* = 0º, *θ* = (º)

 

Fig. . Caso 4, 20 sensores, antenas isotrópicas. *ϕ* = 0º, *θ* = (º) Fig.. Caso 4, 20 sensores, antenas dipolo. *ϕ* = 0º, *θ* = (º)

Como vemos, vuelve a suceder que en los diagramas de radiación aparezcan muchos lóbulos. De este modo, afirmamos la conclusión extraída en el tercer caso de estudio, es decir: si los sensores se sitúan en un plano, el diagrama de radiación tendrá pocos lóbulos y muy anchos, mientras que se sitúan en un espacio tridimensional, el diagrama de radiación presentará muchos lóbulos estrechos. Sin embargo, a modo de resumen, hemos visto que a pesar de las diferencias que existen entre los diagramas de radiación, se ha conseguido mediante el algoritmo implementado que todos apunten en la dirección deseada, lo cual es bastante destacable, pues nos podrá permitir conseguir el objetivo del proyecto.

**---Clusters 1**

Al igual que en apartados anteriores, se representarán las gráficas que muestran los resultados obtenidos al llevar a cabo las 600 realizaciones del experimento cuando se fija la variable *clusters\_fijados* = 1. La figura siguiente muestra dichas gráficas.



Como vemos, en todas las realizaciones se ha conseguido superar el valor de eficiencia unidad, de forma que se consigue el objetivo de este proyecto. Veamos 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*** |
| **2** | 1.823 | 0.054 | 1.808 | 0.056 | 1.832 | 0.099 | 1.809 | 0.067 |
| **5** | 4.550 | 0.302 | 4.518 | 0.245 | 4.516 | 0.314 | 4.525 | 0.279 |
| **10** | 10.098 | 1.175 | 10.155 | 1.412 | 9.952 | 1.087 | 10.176 | 1.471 |
| **20** | 18.669 | 2.794 | 19.540 | 3.020 | 18.706 | 3.410 | 19.104 | 2.988 |
| **50** | 22.254 | 3.572 | 21.657 | 3.888 | 21.605 | 4.340 | 21.931 | 2.942 |

Tabla XXX51. Caso 4. Clusters: 1.

|  |  |
| --- | --- |
| **Resultados globales** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** |
| **2** | 1.818 | 0.071 |
| **5** | 4.527 | 0.283 |
| **10** | 10.095 | 1.283 |
| **20** | 19.005 | 3.043 |
| **50** | 21.862 | 3.682 |

Tabla XXX52. Caso 4. Resultados globales. Clusters: 1.

Analizando la tabla XXX51, vemos que las eficiencias obtenidas para antenas isotrópicas y para antenas dipolo son bastante semejantes. Si analizamos la tabla XXX52, vemos que la eficiencia obtenida para 50 sensores es superior a la obtenida para 20 sensores, al igual que en el caso de estudio 2 y al contrario de lo que ocurría en los casos de estudio 1 y 3. En esos dos casos, los sensores se encontraban en un plano y en los casos 2 y 4 los sensores se encuentran en un espacio tridimensional. Como ya se ha comentado en apartados anteriores, lo lógico es que la eficiencia aumentara a medida que aumenta la cantidad de sensores que usan beamforming; sin embargo, vemos que cuando los sensores se sitúan en un plano, parece existir algún límite en el que la eficiencia deja de crecer en función del número de sensores. Este hecho se comentará en profundidad en el apartado XXXEFICIENCIADEJADECRECERENFUNCIÓNDELNÚMERODESENSORESXD.

Del mismo modo, parece no existir límite alguno (a la vista de los resultados obtenidos hasta ahora) en la eficiencia cuando se tienen gran cantidad de sensores en 3D, pues según los casos estudiados con escenarios tridimensionales, la eficiencia para 50 sensores es siempre la mayor y la eficiencia ha aumentado a medida que aumentaba la cantidad de sensores.

**---Clusters 2**

A continuación, se desea estudiar el efecto que producirá en la eficiencia dividir los sensores en 2 clusters independientes, con la variable *clusters\_fijados* = 2, tan solo para 10, 20 y 50 sensores.



|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **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** | 5.379 | 1.159 | 5.280 | 1.464 | 5.275 | 1.094 | 5.539 | 1.261 |
| **20** | 8.877 | 1.619 | 8.947 | 1.639 | 9.012 | 1.572 | 8.833 | 1.948 |
| **50** | 11.332 | 2.323 | 11.325 | 2.323 | 11.734 | 2.190 | 11.233 | 2.643 |

Tabla. Caso 4. Clusters: 2.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Resultados globales 2 clusters** | | **Respecto a 1 cluster** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | **%** |
| **10** | 5.368 | 1.241 | -4.727 | -46.824 |
| **20** | 8.917 | 1.681 | -10.087 | -53.079 |
| **50** | 11.406 | 2.353 | -10.456 | -47.827 |

Tabla . Caso 4. Resultados globales. Clusters: 2.

Al igual que en los casos de estudio anteriores, vemos que utilizar 2 clusters en lugar de 1 perjudica los resultados de eficiencia. Para 10, 20 y 50 sensores, la eficiencia se reduce en un 50%, aproximadamente. A continuación, mostramos el efecto esperado al usar 2 clusters y 10 sensores y 2 clusters y 20 sensores, junto con 1 cluster y 5 sensores y 1 cluster y 10 sensores, al igual que en los casos anteriores.



Como vemos, la eficiencia con 2 clusters y 10 sensores es superior que la eficiencia con 1 cluster y 5 sensores. Sin embargo, esto no ocurre para 2 clusters y 20 sensores, pues la eficiencia es menor que para 1 cluster y 10 sensores. Este mismo hecho ocurría en el caso de estudio 3, pero no ocurría en los casos de estudio 1 y 2 (carga máxima para todos los sensores). En esos dos casos, la eficiencia con 2 clusters siempre estaba por debajo de la eficiencia con 1 cluster.

Así pues, podemos concluir que si se tiene un escenario en el que la carga de las baterías no sea la misma para todos los sensores, si se desean establecer 2 clusters y 10 sensores, será una mejor alternativa que establecer 1 cluster y 5 sensores.

**--Clusters 3**

En este apartado, estudiaremos la eficiencia en caso de que los sensores del escenario se dividan en 3 clusters distintos



Las tablas que resumen las gráficas se presentan 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*** |
| **20** | 5.993 | 1.209 | 5.466 | 1.340 | 5.769 | 1.178 | 6.119 | 1.109 |
| **50** | 7.150 | 1.764 | 7.025 | 2.172 | 7.545 | 1.850 | 7.085 | 1.565 |

Tabla . Caso 4. Clusters: 3.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Resultados globales 3 clusters** | | **Respecto a 1 cluster** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | **%** |
| **20** | 5.837 | 1.222 | -13.168 | -69.288 |
| **50** | 7.201 | 1.839 | -14.661 | -67.060 |

Tabla . Caso 4. Resultados globales. Clusters: 3.

De nuevo, al igual que en todos los casos de estudio, no resulta productivo dividir los sensores en 3 clusters, pues la eficiencia se reduce en casi un 70%. Así pues, se concluye que no es conveniente establecer en 3 la cantidad de clusters en ninguno de los casos de estudio presentados hasta ahora.

**---Clusters optimizados**

A continuación, estableceremos la variable *clusters\_fijados* = 0 para permitir que el algoritmo optimice la cantidad de clusters necesaria en cada realización para 10, 20 y 50 sensores.



XXX68



XXX69

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **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** | 10.576 | 1.634 | 9.732 | 2.774 | 10.414 | 2.132 | 10.783 | 1.862 |
| **20** | 18.272 | 5.462 | 17.501 | 5.123 | 15.772 | 6.359 | 16.190 | 5.864 |
| **50** | 15.074 | 7.046 | 15.222 | 8.072 | 13.410 | 7.512 | 14.975 | 8.215 |

Tabla. Caso 4. Clusters: optimizados.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Resultados globales clusters optimizados** | | **Respecto a 1 cluster** | | | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | **% (media)** | ***σ*** | **%**  **(*σ)*** |
| **10** | 10.376 | 2.153 | +0.281 | +2.782 | +0.871 | +67.9 |
| **20** | 16.934 | 5.737 | -2.071 | -10.897 | +2.694 | +88.5 |
| **50** | 14.670 | 7.663 | -7.192 | -32.896 | +3.980 | +108.1 |

Tabla XXX70. Caso 4. Resultados globales. Clusters: optimizados.

Si analizamos las tablas XXX68 y XXX69, apreciamos perfectamente que en la gran mayoría de las realizaciones, la cantidad óptima de clusters es 1. Para 10 y 20 sensores, en algunos casos, la cantidad es mayor. Para 50 sensores, en algunas realizaciones, la cantidad óptima es de hasta 50 sensores, algo inviable, pues se reduce la eficiencia incluso por debajo de la unidad. En cualquier caso, podemos ver que cuando la cantidad de clusters es superior a 1, la eficiencia se reduce en todos ellos.

Analizando la tabla XXX70, para 10 sensores, vemos que el algoritmo ha conseguido aumentar la eficiencia con respecto a 1 cluster. Sin embargo, esto choca con que haya casos en los que la eficiencia se reduce cuando aumenta la cantidad de clusters. En los anteriores casos de estudio, la eficiencia media siempre se reducía al usar clusters optimizados con respecto a usar un solo cluster. La causa más probable de que la eficiencia haya aumentado es que en las realizaciones de este caso, los sensores hayan tomado unas posiciones (decididas aleatoriamente) muy particulares o que la carga de las baterías (también aleatoria) haga que aumente la eficiencia con respecto a 1 cluster. En cualquier caso, podemos afirmar que se trata de una excepción, pues en la mayoría de las realizaciones la cantidad de clusters es igual a uno y en las realizaciones en las que es mayor que uno la eficiencia se reduce. Así pues, no tendría sentido optimizar la cantidad de clusters, sino usar siempre 1 solo cluster, pues las realizaciones en las que hay más de uno, la eficiencia siempre se reduce. Además, la desviación típica ha aumentado en un 67.9%, indicativo de que ha aumentado la dispersión de los resultados.

Para los casos en los que la cantidad de sensores es de 20 y 50, la eficiencia se reduce significativamente: 10% para 20 sensores y más del 30% para 50 sensores. De este modo, vemos que permitir que el algoritmo optimice la cantidad de clusters no es nada conveniente, pues hace que se reduzca la eficiencia.

**--Comparativa de clusters**

Finalmente, para concluir este caso de estudio, se presentará la comparativa entre clusters vista en apartados anteriores. El resultado se puede observar en la figura siguiente.



Analizando la gráfica, del mismo modo que en los casos de estudio anteriores, vemos que la mejor opción es que todos los sensores trabajen en el mismo cluster. Si se dividen en 2 o 3 clusters, la eficiencia se reduce enormemente. Si permitimos que la cantidad de clusters se optimice, vemos que para 10 sensores la eficiencia obtenida ha sido mejor; sin embargo, la causa de este efecto es que los sensores hayan tomado unas posiciones o una carga de batería muy especiales como para que aumente la eficiencia, pues en las realizaciones en las que se dividían en 2 clusters la eficiencia se reducía, como ya se comentó en el apartado anterior. Para 20 y 50 sensores, la eficiencia con clusters optimizados se ve muy reducida.

Al igual que en el caso de estudio 2, en el que los sensores se situaban en 3D, la eficiencia para 50 sensores es mayor que para 20 sensores. Recordemos que esto no ocurría en los casos de estudio 1 y 3, en los cuales los sensores se situaban en 2D. De esta forma, se nos puede presentar la duda de si este efecto se ha producido a causa de la escasa cantidad de generaciones o si se ha debido a que cuando los sensores se sitúan en un plano, existe cierto límite en el que la eficiencia deja de aumentar a medida que aumenta la cantidad de sensores de la red.

Como conclusión a este caso de estudio, podemos decir que dadas las condiciones del escenario que se ha presentado (3D y cargas distintas para los sensores), el tiempo de vida de los sensores se puede prolongar hasta casi 22 veces más que el tiempo de vida de los sensores que no usen beamforming.