**--Eficiencias máximas**

Hasta este punto, siempre hemos considerado que la eficiencia se calcula como el cociente entre el menor tiempo de vida de los sensores que usan beamforming y el tiempo de vida de los sensores que no lo usan. Recordemos que los sensores que no usan beamforming tendrán todos el mismo tiempo de vida, pues a todos se les asigna la misma potencia y apuntan al mismo ángulo, lo cual quiere decir que el valor del diagrama de radiación en la dirección deseada es el mismo para todos.

Este modo de calcular la eficiencia ha resultado ser bastante válido por dos motivos:

* Se asegura una eficiencia mínima para todos los sensores. Si la mínima es superior a la unidad, la eficiencia de los demás también lo será, de forma que se conseguiría el objetivo del proyecto.
* En todos los casos de estudio llevados a cabo, en todas las realizaciones la eficiencia ha sido superior a la unidad, consiguiendo así el objetivo principal.

Dado que hemos asegurado que con el beamforming conseguimos ahorrar energía y prolongar la batería que se gastaría primero, resulta interesante conocer la eficiencia del sensor que más tardará en agotar su batería. Para ello, se realiza el cálculo de la siguiente forma:

XXX1000

donde es el tiempo de vida del sensor *x* que usa beamforming y es el tiempo de vida del sensor *x* que no usa beamforming. Realmente, podría elegirse cualquier , pues son todos iguales.

Mediante la fórmula XXX1000, se lleva a cabo el mismo análisis que se ha presentado en apartados anteriores. Se calculará la eficiencia máxima para cada tipo de antena y ángulo de radiación y se hará la media en función de la cantidad de sensores, para cada uno de los casos de estudio. De este modo, se representa a continuación una gráfica similar a la de la figura XXX1001 del apartado anterior.

La tabla que resume la figura XXX1002 también se presenta a continuación.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Eficiencias máximas** | | | | | | | |
| **Caso de estudio 1**  **(2D, carga fija)** | | **Caso de estudio 2**  **(3D, carga fija)** | | **Caso de estudio 3**  **(2D, carga aleat.)** | | **Caso de estudio 4**  **(3D, carga aleat.)** | |
| **Nº de sensores** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** | **Media** | ***σ*** |
| **2** | 1.827 | 0.082 | 1.817 | 0.064 | 2.985 | 1.055 | 2.925 | 0.977 |
| **5** | 4.292 | 0.270 | 4.376 | 1.280 | 12.053 | 4.044 | 10.938 | 3.285 |
| **10** | 9.750 | 1.097 | 9.630 | 2.640 | 27.984 | 6.581 | 26.564 | 5.365 |
| **20** | 22.485 | 4.821 | 21.432 | 6.191 | 57.093 | 13.314 | 61.016 | 13.971 |
| **50** | 46.165 | 8.573 | 57.447 | 19.979 | 144.453 | 33.911 | 170.003 | 41.580 |

Tabla XXX1003



XXX1002

Analizando la figura XXX1002, podemos ver que se reproduce la tendencia de la figura XXX1001, en la que se representaba la eficiencia mínima: el escenario con el que más eficiencia se obtiene es el de carga aleatoria y 3D, seguido por carga aleatoria y 2D, carga igual y 3D y, por último, carga igual y 2D. Sin embargo, los resultados alcanzados son completamente distintos.

Como vemos, la eficiencia media máxima obtenida en el peor de los casos de estudio se da para una cantidad de sensores igual a 50. En ese caso, viendo la tabla XXX1003, el valor de eficiencia obtenida ha sido de 46.165, es decir, la vida de uno de los sensores de esa red duraría 46 veces más que un sensor que no utilizara beamforming.

Si observamos la gráfica que representa el escenario con carga desigual para los sensores y 3D, para 50 sensores, se alcanza una eficiencia de 170.003, lo cual significa que un sensor de esa red tardará 170 veces más en agotar su batería que un sensor de ese mismo tipo de red que no utilice el beamforming. Recordemos que en la tabla XXX52 la eficiencia media mínima, es decir, la eficiencia del sensor que primero agotaría su batería, era de 21.862. De esta forma, podemos afirmar que en ese tipo de escenario, con esa cantidad de sensores, como mínimo podemos conseguir que la batería de los sensores dure casi 22 veces más; como máximo, 170 veces más.

Algo que resalta al observar la figura XXX1002 es que cuando la cantidad de sensores es reducida (2, 5, 10 e incluso 20 en los escenarios con carga igual para todos los sensores), la eficiencia máxima obtenida es mayor para los casos en 2D que para los casos en 3D. Es también destacable que, en la tabla XXX1003, la dispersión de los datos sea tan elevada, pues la desviación típica para 50 sensores en el escenario de 3D y carga aleatoria es de 41.580.