**--Casos nuevos**

A lo largo de la discusión de los distintos casos de estudio, nos hemos topado con un efecto que no se esperaba en un principio: la eficiencia media obtenida para 50 sensores en los escenarios en 2D era menor que la obtenida para 20 sensores en 2D. Dicho efecto no era esperado debido a que cuanta mayor sea la cantidad de sensores, mejor se llevará a cabo el beamforming y, por tanto, la eficiencia también sería mayor. Dos posibles causas para este efecto podrían ser:

1. Una de ellas podría ser que el algoritmo no conseguía superar la barrera impuesta por el tiempo de transmisión de los sensores que utilizan beamforming, es decir, *X·T*, que aumenta a medida que aumenta la cantidad de sensores *X*. Cuanto mayor sea este tiempo de transmisión, antes se agotará la batería, pues los sensores han de transmitir durante más tiempo. De este modo, habría cierto límite en la cantidad de sensores para el cual la eficiencia dejaría de aumentar.
2. La otra causa podría ser que la cantidad de generaciones no fuera suficiente. Recordemos que la cantidad de generaciones para todos los experimentos y realizaciones han sido 200, y la población ha sido 100. De este modo, el algoritmo funcionaría mejor (llegaría con menor cantidad de generaciones a la solución óptima) para 20 sensores (40 variables) que para 50 sensores (100 variables).

Con el fin de descartar una de las causas, se decide llevar a cabo el siguiente experimento: dado que el paso de 20 a 50 sensores es demasiado grande, se llevarán a cabo distintas simulaciones empezando en 16 sensores, hasta llegar a 50, de dos en dos. Las simulaciones desde 16 hasta 30 sensores se realizarán con la misma cantidad de generaciones y población que los casos de estudio anteriores, 200 generaciones y 100 de población; de 32 a 50 sensores, se harán otras simulaciones con 400 generaciones y 100 de población y otras se harán con 400 generaciones y 200 de población.

Con estos experimentos, se probará la teoría de la segunda causa. En caso de no ser cierta, nos servirá para comprobar el supuesto límite impuesto por la primera causa comentada.

Así pues, se decide llevar a cabo estos experimentos con las condiciones del caso de estudio 1 (carga igual para los sensores y 2D) y para el caso de estudio 4 (carga aleatoria y 3D). Dado que los distintos experimentos llevados a cabo para distintas antenas y ángulos de radiación resultaron ser muy similares, se decide realizar los siguiente experimentos únicamente para antenas isotrópicas y para el ángulo theta = 45º, phi = 0º, con el fin de ahorrar tiempo de ejecución.

A continuación se muestran los resultados obtenidos. En primer lugar, se muestran las realizaciones para los casos en los que la cantidad de sensores varía de 16 a 30 (200 generaciones y 100 población); en segundo lugar, los casos en los que la cantidad de sensores varía de 32 a 50 (400 generaciones y 100 población); por último, el mismo caso para 400 generaciones y 200 de población.



Fig. XXX1010



Fig. XXX1011



Fig. XXX1012

Analizando las figuras XXX10-11-12, podemos ver que en ninguna de las realizaciones la eficiencia se reduce por debajo de la unidad. De este modo, se consigue el objetivo de este proyecto para todos estos experimentos.

Con el fin de poder comparar claramente las distintas realizaciones, se mostrará la media de cada experimento en una misma figura. A continuación, se muestra dicha comparativa. Los valores de eficiencia media para 2, 5, 10 y 50 sensores para 200 generaciones y 100 de población se han extraídos directamente de los valores del caso de estudio 1, pues no se han calculado en estas nuevas simulaciones. Con ellos, veremos claramente las diferencias entre una simulación y otra.



En primer lugar, comentemos la gráfica de color negro (200 generaciones y 100 de población). Como vemos, presenta un claro ascenso a medida que aumenta la cantidad de sensores, desde 2 hasta 20. Entonces, para 22, 24 y 26 sensores, la eficiencia se reduce ligeramente. Para 28 y 30, aumenta. Para 50 sensores, vemos el efecto que se producía en el caso de estudio 1, la eficiencia se reduce.

En segundo lugar, comentemos la gráfica roja (400 generaciones y 100 de población). Esta gráfica comienza en 32 sensores y va en pasos de 2 sensores hasta 50. A pesar de que se reduce ligeramente con respecto a la eficiencia obtenida para 30 sensores con respecto a la gráfica con 200 generaciones, esta gráfica no tiene una tendencia de bajada, sino de subida. Así, para 50 sensores, la eficiencia obtenida es mucho mayor que la eficiencia obtenida para 50 sensores con 200 generaciones.

Finalmente, comentaremos la gráfica verde (400 generaciones y 200 de población). Esta gráfica, al igual que la roja, comienza reduciéndose, aunque termina por encima incluso de la gráfica roja.

Por tanto, hemos visto que tratando de descartar la causa número 2, sobre la cantidad de generaciones, hemos conseguido dar la razón de por qué la eficiencia para 50 sensores se reducía con respecto a la eficiencia para 20 sensores, pues acabamos de ver que aumentando el número de generaciones al doble, este efecto deja de darse. También tiene que ver el tamaño de la población, pues con 200 de población (gráfica verde) la eficiencia conseguida es mayor que para un tamaño de 100 (gráfica roja).

Así pues, descartamos que para una cantidad menor a 50 sensores exista un límite que impida a la eficiencia aumentar en función de la cantidad de sensores debía al tiempo de transmisión *X*·*T*, pues dicho límite no existe cuando la cantidad de generaciones es elevada. Dado que no se han realizado simulaciones para cantidades superiores a 50 sensores, no es posible afirmar si dicho límite existirá cuando el número de sensores sea más elevado.

A continuación, se llevará a cabo el mismo tipo de análisis para el caso de estudio 4. En dicho caso, no se daba el efecto en el que la eficiencia se reducía para 50 sensores con respecto a la eficiencia para 20 sensores. Sin embargo, resulta interesante saber si en él también aumentará la eficiencia al aumentar la cantidad de generaciones. Así, mostramos las gráficas obtenidas para este caso de estudio.



XXX1015



XXX1016



XXX1017

Observando las figuras XXX15-17, en ninguna de las realizaciones la eficiencia obtenida está por debajo de 1, consiguiendo así el objetivo del proyecto. Al igual que con el caso de estudio 1, se representará la eficiencia media obtenida de cada experimento en una misma gráfica para que se puedan comparar fácilmente. Los valores de eficiencia media para 2, 5, 10 y 50 sensores para 200 generaciones y 100 de población se han obtenido a partir de las tablas del caso de estudio 4.



XXX18

Analicemos la figura XXX18. En cuanto a la gráfica de color negro (200 generaciones y 100 de población), vemos que a medida que aumenta la cantidad de sensores, aumenta también la eficiencia de forma casi lineal, hasta los 20 sensores. Para 22 sensores, la eficiencia se reduce ligeramente, para seguir aumentando posteriormente hasta alcanzar los 28 sensores. Para 30 y 50 sensores, la eficiencia obtenida es ligeramente inferior que para 28. La causa probable podría ser que la cantidad de generaciones para un número tan elevado de variables (60 variables para 30 sensores y 100 variables para 50 sensores) sea demasiado poca.

En cuanto a la gráfica roja (400 generaciones y 100 de población), vemos que a partir de 34 sensores, la eficiencia aumenta hasta alcanzar un valor de 26.6 par 50 sensores, que, comparado con el valor alcanzado por la gráfica negra (22.25), es realmente superior. Así, vemos que se repite el efecto del caso de estudio 1: es necesario aumentar la cantidad de generaciones cuando la cantidad de sensores es elevada; de lo contrario, habrá una repercusión directa en la eficiencia, en forma de una clara reducción.

En cuanto a la gráfica verde (400 generaciones y 200 de población), podemos ver que coincide en algunos valores con la gráfica verde. Sin embargo, para 50 sensores, la eficiencia es claramente superior al resto de gráficas, debido a que se ha aumentado la población y también el número de generaciones.

La conclusión que podemos extraer de este apartado es que con la cantidad de generaciones con las que se han ejecutado los algoritmos genéticos en todos los casos de estudio (200) y con el tamaño de la población utilizado (100), es posible conseguir que la eficiencia sea superior a la unidad en escenarios cuya cantidad de sensores sea 50 o inferior. Sin embargo, en los casos en los que la cantidad de sensores es elevada (superior a 30), habíamos notado una ligera reducción en eficiencia, motivada por una cantidad reducida de generaciones y población. Por tanto, se decide llevar a cabo nuevas simulaciones con cantidades de generaciones y de poblaciones más elevadas y se consigue demostrar que la eficiencia es capaz de aumentar en esos casos en los que se reducía. Así, en todos los casos, a medida que aumenta la cantidad de sensores, la eficiencia también lo hará, venciendo siempre a la barrera que podría imponer el tiempo que los sensores con beamforming han de radiar (*X*·*T*).