

# Mètode de localització d'objectes basat en tecnologia RFID

Pérez Lleberia, Jordi  
Curs 2013-2014

Director: Joan Melià-Seguí

GRAU EN ENGINYERIA INFORMÀTICA



Universitat  
Pompeu Fabra  
Barcelona

Escola  
Superior Politècnica

## Treball de Fi de Grau

# Mètode de localització d'objectes basat en tecnologia RFID

---

Autor: Jordi Pérez Lleberia

Tutors: Joan Melià-Seguí i Anna Carreras Coch

Universitat Pompeu Fabra – Escola Superior Politècnica

Curs: 2013-2014

## **AGRAIMENTS**

Agrair a en Joan i l'Anna el seu constant esforç, interès, guia i dedicació en aquest treball, s'agraeix tota aquesta ajuda, gràcies fins al final. A en Marc i en Raúl per les idees i ajudes en les proves inicials. A l'Alejo i en Diego per l'ajuda en algunes tasques. A la meva germana Gemma pels constants ànims.

Gràcies a tots.

## **RESUM**

La *Radio Frequency IDentification* (RFID) és una tecnologia que es basa en l'extracció d'informació d'objectes mitjançant ones de ràdio. Aquesta informació està continguda dins unes etiquetes electròniques que si es troben dins el rang de cobertura d'un lector RFID, aquest podrà capturar-la. La tecnologia RFID és la base d'una prestatgeria intel·ligent situada al *UbiCA Lab*[1] de la Universitat Pompeu Fabra[2] amb la qual treballarem.

En aquests moments, només podem dir que aquestes etiquetes es troben dins l'àrea de cobertura de l'antena. El que nosaltres cerquem és una localització precisa que ens digui on està situada concretament. Per tant, el nostre objectiu serà solucionar aquesta problemàtica el més acuradament possible i poder millorar la localització.

Iniciarem la cerca d'un mètode orientant-nos amb altres ja existents per poder garantir-ne l'èxit. Continuarem prenent mesures de potència i fase que ens proporciona el lector per calcular la fiabilitat de les dades quan calculem localitzacions. Finalment, aplicarem diversos mètodes per trobar el més acurat, precís i ajustat al que nosaltres busquem, basant-nos en les mesures anteriors. Els experiments realitzats amb el mètode més precís ens mostren que el *tag* es troba dins una àrea de com a màxim 30cm x i 10cm y .

De fet, trobar objectes en una prestatgeria d'una forma més precisa o bé localitzar productes dins un armari són possibles aplicacions que millorarien el rendiment, eficiència i productivitat d'indústries on es faci inventari emprant aquesta tecnologia.

## **ABSTRACT**

Radio Frequency IDentification is a technology based on the extraction of information of objects through radio waves. That information is into electronic tags that if they are within the RFID reader coverage range, these will catch it. RFID technology is the base of smart shelf which is located in the *UbiCA Lab*[1] of Pompeu Fabra University[2] which we are going to work with.

At the moment, we only can say that these tags are into the antenna's coverage area. But what we are looking for is an accurate location which can say where is concretely located. Therefore, our target is to solve that problem the more accurately possible and improve the location.

We will start a research method guiding us with other ones that had been made in order to guarantee the success. Then, we will continue taking power and phase measures that are provided by the reader so as to calculate the reliability of the dates when we work out locations. Finally, we will put on various methods so that we could find the most accurate and suitable that we are finding, based on the previous measures. Experiments with the most accurate method shows that the tag is located within an area of maximum 30cm x and 10cm y.

Finding objects in a shelf with a more accurate form or locating products into a wardrobe would be possible applications that will improve the performance, efficiency and industries productivity which use this type of technology.

	Pàg.
Agraïments	II
Resum	III
Llistat de figures	VI
Llistat de taules	VIII
1. CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ	1
1.1. Context	1
1.2. Tecnologia RFID	1
1.3. Rangs de freqüències	3
1.4. Per què?	4
1.5. Treballs relacionats	4
2. CAPÍTOL 2. MATERIALS UTILITZATS	8
2.1. Escenari	8
2.2. Dispositius	9
3. CAPÍTOL 3. PROBLEMÀTICA I OBJECTIU	10
3.1. Problemàtica	10
3.2. Objectiu	10
3.3. Diferents mètodes	10
4. CAPÍTOL 4. PROVES	12
4.1. Proves inicials	12
4.2. Introducció als experiments	18
4.3. Diagrama de radiació i altres paràmetres	19
4.4. Triangulació circular	20
4.5. Triangulació circular – Mètode 1	21
4.6. Triangulació circular – Mètode 2	25
4.7. Triangulació circular – Mètode 1 (Variació)	27
4.8. Triangulació circular – Mètode 2 (Variació)	30
4.9. Triangulació circular – Mètode 2 (Fórmula i límits de confiança)	33
4.10. Mètode 3	36
4.11. Triangulació circular – Mètode 2 + Mètode 3	37
4.12. Comparacions entre els diferents mètodes	49
4.13. Elecció del mètode	51
5. CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS	53
6. CAPÍTOL 6. PART COMUNA	54
7. CAPÍTOL 7. TREBALL FUTUR	56
BIBLIOGRAFIA	57
ANNEX	59

## LLISTAT DE FIGURES

---

	Pàg.
<i>Figura 1.1. AdvanReader-100.</i>	2
<i>Figura 1.2. Advantenna-p11.</i>	2
<i>Figura 1.3. Passive Tag.</i>	2
<i>Figura 1.4. Sistema RFID</i>	2
<i>Figura 1.5. Rang de freqüències.</i>	3
<i>Figura 1.6. Diferents tag's.</i>	3
<i>Figura 1.7. Diferència de fase.</i>	5
<i>Figura 1.8. Temps d'arribada.</i>	5
<i>Figura 1.9. Potència.</i>	6
<i>Figura 2.1. Esquema escenari</i>	8
<i>Figura 2.2. Part posterior escenari</i>	8
<i>Figura 2.3. Part davantera escenari</i>	8
<i>Figura 2.4. AdvanReader-100 i cablejat connexió antena</i>	9
<i>Figura 2.5. Advantenna-p11</i>	9
<i>Figura 2.6. Tag passiu</i>	9
<i>Figura 4.1. Esquema escenari proves inicials</i>	12
<i>Figura 4.2. (Estructura cartró)</i>	13
<i>Figura 4.3. (Estructura antena)</i>	13
<i>Figura 4.4. Creació csv's.</i>	14
<i>Figura 4.5.1 Estructura cartró, antena i lector.</i>	14
<i>Figura 4.5.2 Execució software i recull de dades</i>	14
<i>Figures.4.6, 4.7, 4.8. Fotografies preses des de diferent angles de l'escenari</i>	15
<i>Figura 4.9. RSSI vs. Distància - DAF0...0001</i>	16
<i>Figura 4.10. Fase vs. Distància – DAF00001</i>	16
<i>Figura 4.11. Fase vs. Distància – DAF00001(Zoom)</i>	16
<i>Figura 4.12. Potència vs. Distància – DAF00001 Curve Fitting</i>	17
<i>Figura 4.13. Imatge davantera escenari</i>	18
<i>Figura 4.14. Imatge antenes posterior</i>	18
<i>Figura 4.15. Recreació escenari</i>	18
<i>Figura 4.16. Recreació escenari real</i>	18
<i>Figura 4.17. Radiació ideal</i>	19
<i>Figura 4.18. Radiació real</i>	19
<i>Figura 4.19. Camp radiació antena</i>	19
<i>Figura 4.20. Camp radiació resultant antenes</i>	19
<i>Figura 4.21. Interseccions àrees triangulació circular</i>	20
<i>Figura 4.22. Localització tag mètode 1</i>	21
<i>Figura 4.23. Cerca radis mètode 1 (part 1)</i>	21
<i>Figura 4.24. Cerca radis mètode 1 (part 2)</i>	22
<i>Figura 4.25. Intersecció resultant mètode 1</i>	22

<i>Figura 4.26. Cerca de radis – Exp 1</i>	23
<i>Figura 4.27. Intersecció tres àrees – Experiment 1</i>	23
<i>Figura 4.28. Cerca de radis- Exp 2</i>	24
<i>Figura 4.29. Intersecció tres àrees – Experiment 2</i>	24
<i>Figura 4.30. Tag a localitzar mètode 2</i>	23
<i>Figura 4.31. Resultat àrea mètode 2</i>	25
<i>Figura 4.32. Posicions tag's experiment 1</i>	26
<i>Figura 4.33. Posicions tag's experiment 2</i>	27
<i>Figura 4.34. Posicions tag i àrea experiment 1</i>	29
<i>Figura 4.35. Posicions tag i àrea experiment 2</i>	30
<i>Figura 4.36. Posicions tag's experiment 1</i>	32
<i>Figura 4.37. Posicions tag's experiment 2</i>	33
<i>Figura 4.38. Intersecció tres àrees experiment 1</i>	35
<i>Figura 4.39. Intersecció tres àrees experiment 2</i>	36
<i>Figura 4.40. Resultat àrea experiment 1</i>	38
<i>Figura 4.41. Resultat àrea experiment 2</i>	40
<i>Figura 4.42. Resultat àrea experiment 3</i>	42
<i>Figura 4.43. Resultat àrea experiment 4</i>	43
<i>Figura 4.44. Resultat àrea experiment 5</i>	45
<i>Figura 4.45. Resultat àrea experiment 6</i>	47
<i>Figura 4.46. Resultat àrea experiment 7</i>	48
<i>Figura 6.1. Esquema smart shelf</i>	50

## LLISTAT DE TAULES

---

	Pàg.
<i>Taula 3.1. Presentació diferents mètodes</i>	10
<i>Taula 4.1. Resultats DAF00001- Experiment 1</i>	23
<i>Taula 4.2. Resultats DAF00001- Experiment 2</i>	24
<i>Taula 4.3. Posició y vs. Fase</i>	37
<i>Taula 4.4. DAF00001- Mitjana potència i fase</i>	37
<i>Taula 4.5. DAF00011- Mitjana potència i fase</i>	38
<i>Taula 4.6. DAF00011- Mitjana potència real</i>	38
<i>Taula 4.7. DAF00001- Mitjana potència ajustada</i>	38
<i>Taula 4.8. DAF00001- Radis</i>	38
<i>Taula 4.9. DAF00001- Mitjana potència i fase</i>	39
<i>Taula 4.10. DAF00011- Mitjana potència i fase</i>	39
<i>Taula 4.11. DAF00011- Mitjana potència real</i>	39
<i>Taula 4.12. DAF00001- Mitjana potència ajustada</i>	39
<i>Taula 4.13. DAF00001- Radis</i>	40
<i>Taula 4.14. DAF00001- Mitjana potència i fase</i>	41
<i>Taula 4.15. DAF00011- Mitjana potència i fase</i>	41
<i>Taula 4.16. DAF00011- Mitjana potència real</i>	41
<i>Taula 4.17. DAF00001- Mitjana potència ajustada</i>	41
<i>Taula 4.18. DAF00001- Radis</i>	41
<i>Taula 4.19. DAF00001- Mitjana potència i fase</i>	42
<i>Taula 4.20. DAF00011- Mitjana potència i fase</i>	43
<i>Taula 4.21. DAF00011- Mitjana potència real</i>	43
<i>Taula 4.22. DAF00001- Mitjana potència ajustada</i>	43
<i>Taula 4.23. DAF00001- Radis</i>	43
<i>Taula 4.24. DAF00001- Mitjana potència i fase</i>	44
<i>Taula 4.25. DAF00011- Mitjana potència i fase</i>	44
<i>Taula 4.26. DAF00011- Mitjana potència real</i>	44
<i>Taula 4.27. DAF00001- Mitjana potència ajustada</i>	45
<i>Taula 4.28. DAF00001- Radis</i>	45
<i>Taula 4.29. DAF00001- Mitjana potència i fase</i>	46
<i>Taula 4.30. DAF00011- Mitjana potència i fase</i>	46
<i>Taula 4.31. DAF00011- Mitjana potència real</i>	46
<i>Taula 4.32. DAF00001- Mitjana potència ajustada</i>	46
<i>Taula 4.33. DAF00001- Radis</i>	46
<i>Taula 4.34. DAF00001- Mitjana potència i fase</i>	47
<i>Taula 4.35. DAF00011- Mitjana potència i fase</i>	48
<i>Taula 4.36. DAF00011- Mitjana potència real</i>	48
<i>Taula 4.37. DAF00001- Mitjana potència ajustada</i>	48
<i>Taula 4.38. DAF00001- Radis</i>	48

<i>Taula 4.39. Comparacions diferents mètode (part 1)</i>	50
<i>Taula 4.40. Comparacions diferents mètode (part 2)</i>	50

# CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ

---

## 1.1. CONTEXT

---

L' 1% de la població mundial[3] és cega. Totes aquestes persones s'enfronten dia a dia a diversos obstacles que dificulten la seva vida; per exemple, un dels més comuns serà la recerca de diversos objectes dins la seva llar. La persona cega s'aixeca de bon matí, es planta davant de la seva prestatgeria plena de discs de música i ha de recórrer mitja prestatgeria per a trobar el seu disc preferit.

Una possible solució seria la tecnologia RFID (*Radio Frequency IDentification*). Aplicant la tecnologia RFID a aquest problema, la persona cega pot localitzar aquest CD amb molta més rapidesa i precisió. Pot haver-hi un programa que amb l'ajuda de la tecnologia RFID li digui a la persona invident en quina part de la prestatgeria es troba el seu disc. Fins ara la tecnologia RFID només aproxima aquesta localització al camp que abraça l'antena, és a dir, l'objecte ha estat llegit per aquesta antena. El que volem realitzar és un mètode per a ser el més precís possible en la localització d'aquest objecte, passar de donar com a resultat l'objecte és llegit per l'antena A, a l'objecte es troba en el rang  $[x,y]$  centímetres on  $x,y \in \mathbb{R}$  dins del camp de l'antena A. Nosaltres el que farem és treballar amb l'eix  $x$  i  $y$ , sobre el pla de la prestatgeria, amb només dues dimensions. La nostra meta doncs, serà trobar un mètode de localització d'objectes etiquetats que ens doni els resultats més precisos possibles.

Sent més específics anem a numerar i descriure les diferents etapes del projecte:

1. Cerca dels diferents mètodes de localització de tags (etiqueta RFID) on es cercaran els diferents mètodes ja documentats en articles per obtenir bons resultats i garantir-ne l'èxit.
2. Elecció/realització concreta del mètode. Elecció d'un mètode o creació d'un mètode per a arribar a obtenir bons resultats, els més acurats possibles.
3. Anàlisi i proves amb el mètode escollit. Realització de proves amb el mètode seleccionat a la prestatgeria. Si les proves no fossin satisfactòries ho documentaríem i tornaríem al pas 2.
4. Comparació dels diferents mètodes i elecció. Un cop obtinguts els diferents mètodes els compararem i escollirem el que ens doni millors resultats.

## 1.2. LA TECNOLOGIA RFID

---

RFID (*Radio Frequency IDentification*) és una tecnologia d'identificació remota i sense fils que comprèn d'un dispositiu anomenat *reader* (lector) connectat a un equip, que es comunica amb unes etiquetes (*tags*) mitjançant una antena. Aquestes etiquetes contenen un xip (amb informació) que té una antena per a poder comunicar-se a través de la

radiofreqüència amb el lector. A continuació podem veure els diferents components de la tecnologia i un esquema de com es relacionen.

- *Reader* (hardware)



Figura 1.1. AdvanReader-100.

[http://keonn.com/images/stories/pdf/Keonn-AdvanReader-100-Data\\_sheet.pdf](http://keonn.com/images/stories/pdf/Keonn-AdvanReader-100-Data_sheet.pdf)

(Última actualització: 07/06/2014)

- Antena



Figura 1.2. Advantenna-p11.

[http://keonn.com/images/stories/pdf/Keonn-Advantenna-p11-Data\\_sheet.pdf](http://keonn.com/images/stories/pdf/Keonn-Advantenna-p11-Data_sheet.pdf)

(Última actualització: 07/06/2014)

- Tag



Figura 1.3. Passive Tag. <http://keonn.com/>. (Última actualització: 07/06/2014)

- Esquema sistema RFID

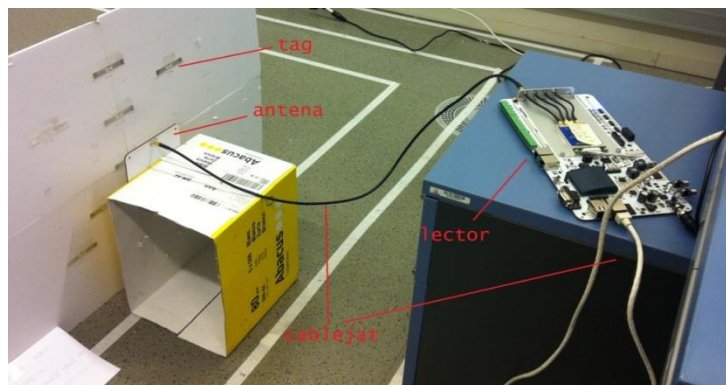


Figura 1.4. Sistema RFID

Les etiquetes que nosaltres utilitzarem són etiquetes passives, és a dir, no necessiten alimentació elèctrica per funcionar. El funcionament és el següent, l'antena envia una senyal al *tag* i aquest li respon amb un altre senyal. A partir d'aquí es calculen les diferents dades com ara la potència o la fase, amb les quals es basarà el nostre projecte.

### 1.3. RANGS DE FREQUÈNCIES

Els sistemes *RFID* treballen en un rang de freqüències que van aproximadament dels 125 kHz fins als 5.8 GHz. Aquestes freqüències estan classificades de la següent forma:

- LF : 125 kHz - 134,2 kHz : baixa freqüència (utilitzats a la logística)
- HF : 13.56 MHz : alta freqüència (utilitzada a la logística i per al rastreig)
- UHF : 860 MHz - 960 MHz : ultra alta freqüència (la que nosaltres emprarem)
- SHF : 2.45 GHz : super alta freqüència (utilitzada per al seguiment d'objectes)

Per a veure-ho més clarament, la figura 1.5 ens mostra el rang de freqüències que els sistemes RFID poden utilitzar.

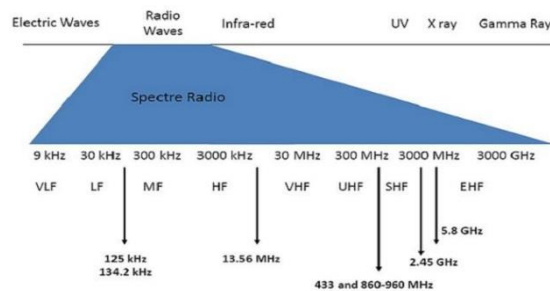


Figura 1.5. Rang de freqüències.

<http://www.centrenational-rfid.com>

(Última actualització 06/06/2014)

Finalment la figura 1.6. ens mostra l'aspecte que tenen els diferents *tags* segons la seva freqüència.

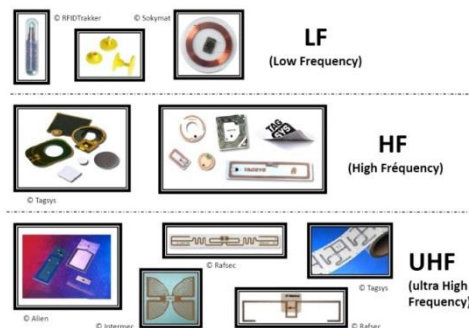


Figura 1.6. Diferents tag's.

<http://www.centrenational-rfid.com>

(Última actualització 06/06/2014)

## 1.4. PERQUÈ?

---

L'obtenció, la fiabilitat i el control de dades en temps real són els punts forts d'aquesta tecnologia. Control d'alumnes, control de pacients d'un hospital, control d'inventari d'una tenda, indústries, entrega i recepció de paquets, targetes de crèdit, passaports, i mòbils són alguns dels escenaris on la tecnologia *RFID* és aplicable. Però l'escenari on realment ens interessa aplicar aquesta tecnologia és el de les persones discapacitades.

Al món hi ha aproximadament 45 milions de cecs[3]. La majoria d'aquestes persones tenen problemes a l'hora de localitzar objectes. Per exemple, si ens trobem amb un invident buscant un CD de música que vol escoltar en una prestatgeria, aquest hauria de tocar cada CD de música i amb l'ajuda del codi Braille el localitzaria. Aplicant la tecnologia *RFID*, aquesta persona cega podria localitzar amb precisió aquest CD que busca. Utilitzant la tecnologia *RFID* volem trobar un mètode de localització el més precís possible per a que faciliti aquesta localització d'objectes a la persona cega en una prestatgeria.

Amb la tecnologia *RFID* és possible que les persones cegues o amb cert grau de ceguera tinguin un canvi de vida a millor, augmenti la seva confiança i els hi doni més control i seguretat.

## 1.5. TREBALLS RELACIONATS

---

### Introducció

Diferents articles i treballs han estat presos com a referència per a dur a terme aquest projecte com ara el treball de fi de grau d'en David Cortés realitzat l'any 2013[14] o bé articles del grup UbiCa Lab de la UPF com ara "*Cricketing: customer-product interaction in retail using pervasive technologies.*" [11] que es basa amb la interacció persona – prestatgeria, com també "*Enhancing the shopping experience through RFID in an actual retail store.*" [12] i "*STORE VIEW: pervasive RFID & indoor navigation based retail inventory management.*" [13]

Seguidament, donarem a conèixer els diferents articles presos com a referència que contenen els diferents mètodes per a trobar la ubicació d'un objecte mitjançant la tecnologia *RFID*. Cada article presenta un tipus o via diferent de mètode segons l'angle d'arribada, el temps d'arribada, la potència d'arribada o la diferència de fase.

### Angle d'arribada i diferència de fase

En aquest cas l'article que hem agafat com a referència és "*Two-dimension Localization of Passive RFID Tags Using AOA Estimation*"[5]. Els experiments que realitzen es basen en un escenari de dues antenes separades per una distància  $L$ . També introdueixen un *tag* separat paral·lelament a una distància  $D$  de les dues antenes. A partir d'aquí

s'agafa el punt mig de la distància entre les dues antenes per trobar l'angle. Ho podem veure a l'esquema següent:

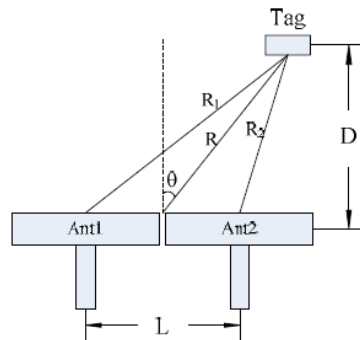


Figura.1.7. Diferència de fase. Imatge extreta de l'article en qüestió

Inicialment estudien les característiques de la fase de la senyal rebuda del tag i realitzen experiments per a veure que la fase rebuda varia linealment segons la distància del tag (R). Amb això s'adonen que l'angle de la fase és sensible a la distància R del tag. A partir de l'escenari anterior demostren que la diferència de fase de dues antenes es pot utilitzar per aproximar l'angle d'arribada amb una bona precisió i trobar la direcció del tag però no la ubicació exacta. Com a possible solució es poden utilitzar quatre antenes, en dos antenes es troba l'angle del tag al seu punt de referència i després la posició del tag pot ser calculada utilitzant una triangulació.

### Temps d'arribada

En aquest apartat hem escollit un projecte realitzat per alumnes de la UPC on tracten diferents mètodes sobre la localització. El projecte és “Accuracy evaluation of probabilistic location methods in UWB-RFID Systems”[6]. En aquest projecte es troben diferents mètodes amb diferents tècniques que impliquen *ultra-wideband antennas*, *wireless location*, *RFID Systems*, etc. Nosaltres ens centrarem en la tecnologia RFID i amb el mètode que utilitza la diferència de temps d'arribada (TDOA). En primer lloc, aquest mètode necessita tres antenes per trobar una precisió acurada. L'escenari es mostra a continuació:

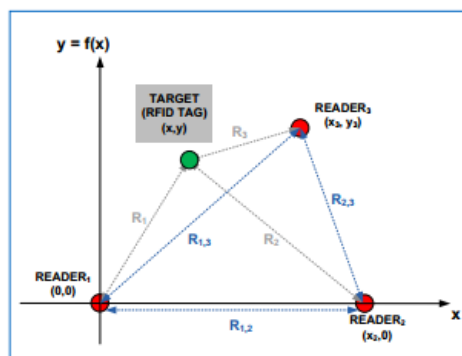


Figura.1.8. Temps d'arribada. Imatge extreta de l'article en qüestió

El que fa aquest mètode primerament és trobar el temps d'arribada de cada antena a *tag*, és a dir, l'antena pregunta al *tag* per trobar el temps d'arribada. Després, cada temps d'arribada obtingut és processat i s'obté la diferència de temps entre dues antenes. A partir d'aquest resultat s'aplica la fórmula que relaciona aquest resultat amb les distàncies.

$$R_{i,1} = c \cdot \tau_{i,1} = R_i - R_1 = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2}$$

On  $\tau_{i,j}$  és la diferència de temps d'arribada entre dues antenes i  $c$  és la constant de velocitat de propagació de la llum. A continuació apliquen el mètode de Fang que té com a objectiu trobar les coordenades  $x$  i  $y$ .

### Potència d'arribada (Exemple A)

L'article escollit per veure com funciona un mètode aplicat a la tecnologia RFID emprant la potència és "*MDS-based Localization Algorithm for RFID Systems*"[7]. El mètode s'anomena *MDS-RFID* i consta de tres parts importants. Nosaltres ens centrarem en el primer pas ja que és el que calcula les distàncies entre els *tags* i l'antena o antenes atès que amb això podem obtenir la localització estimada dels *tags*. Això ho aconseguen mitjançant la potència, aplicant la fórmula que relaciona l'atenuació de la senyal amb la distància. Després d'una sèrie de càlculs aproximen la distància a  $\hat{d}(P) = 10^{\frac{c-P}{10n}}$  on  $n$  és l'exponent de pèrdua de trajectòria,  $P$  és la potència rebuda i  $c$  és una constant que s'aproxima de la següent forma  $c = Pt + Gr + Gt - PL(d_0) + 10n \log(d_0)$  on  $Pt$  és la potència de transmissió,  $Gr$  és el transmissor de guany de l'antena,  $Gt$  és el receptor de guany de l'antena,  $n$  és l'exponent de pèrdua de trajectòria,  $d_0$  és la distància de referència i  $PL(d)$  és una variable aleatòria que descriu la pèrdua de trajecte mesurat en dB a una distància  $d$ . Un escenari amb el qual ells realitzen les proves és:

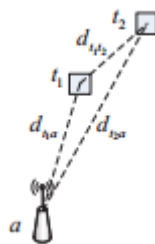


Figura.1.9. Potència. Imatge extreta de l'article en qüestió

A partir d'aquí nosaltres podríem agafar com a referència inicial l'antena i calcular el punt  $x$  i  $y$  de cada *tag* ja que sol treballem amb un espai bidimensional. El punt fort d'aquesta mètode és que necessita poques antenes per al seu funcionament, com a punt dèbil és que utilitza estimacions i que la mesura de la potència va variant.

### Potència d'arribada (Exemple B)

Un altre article que utilitza la potència és “*Localization Systems using Passive UHF RFID*”[8]. En aquest cas s'estudien les diferents tècniques de localització utilitzant la potència com a base. Seguidament es proposa un mètode d'aproximació. Aquest mètode inclou una antena, un *tag* on la seva posició no és sabuda i una sèrie de *n tag's* on les seves posicions sí que ho són. Partint que les posicions de l'antena i els *n tag's* són sabudes, l'antena interroga als *n tag's* per aproximar la posició del *tag* que es vol localitzar. Després el mètode n'elimina alguns que no són essencials per a la localització per a obtenir una millor precisió.

### Conclusions

Com hem pogut observar, hi ha diferents combinacions i variants sobre mètodes que fan possible que tinguéssim varies opcions a l'hora d'afrontar el projecte. Després de llegir diversos articles, una bona opció seria jugar amb la diferència de fase segons l'angle d'arribada ja que varis articles han trobat una precisió acurada de la localització del *tag* amb els seus experiments. També seria interessant aplicar la potència ja que també s'obtenen resultats precisos. No hem de deixar de banda el temps d'arribada, que a priori és el que extreu pitjors resultats, però també pot ser una opció.

## CAPÍTOL 2. MATERIALS UTILITZATS

### 2.1. ESCENARI

L'escenari principal on es realitzaran les proves i s'aplicaran els mètodes escollits és a la prestatgeria intel·ligent del grup UbiCA Lab de la UPF. Aquesta prestatgeria consta de la tecnologia *RFID*, és a dir, al seu darrera té les antenes connectades al *reader* per a poder llegir *tags*.

Nosaltres ens centrarem inicialment en aplicar el mètode en tres antenes i en una bloc de la prestatgeria en concret. Aquesta prestatgeria estarà marcada amb la seva longitud  $[x,y]$  centímetres on  $x,y \in \mathbb{R}$ . A l'esquema es pot veure tota la prestatgeria on a representarà l'eix de les  $x$ 's i  $b$  l'eix de les  $y$ 's (totes dues distàncies conegudes).

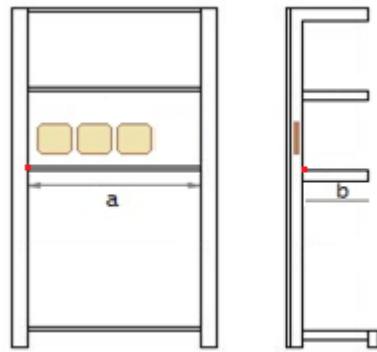


Figura 2.1. Esquema escenari

- Distància a: 106cm
- Distància b: 37cm
- Punt inicial (0,0)cm és representat amb vermell

Imatges reals de l'escenari:



Figura 2.2. Part posterior escenari



Figura 2.3. Part davantera escenari

## 2.2. DISPOSITIUS

---

A continuació passarem a descriure els diferents dispositius que utilitzarem durant el projecte.

- Ordenador portàtil amb el corresponent software i cablejat:
  - Ordenador portàtil amb sistema operatiu Linux
  - Software AdvanNet per executar el lector, identificació de dades i creació de csv (fitxer *comma-separated values*)
  - Cablejat de xarxa per a connectar el lector al ordenador
- Lector
  - Hardware *AdvanReader-100*
  - Corresponent cablejat d'alimentació i connexió a l'antena
  - Documentació: Data sheet[15]



Figura 2.4. AdvanReader-100 i cablejat connexió antena

- Antena
  - Antena *Advantenna-p11*
  - Documentació: Data sheet[16]

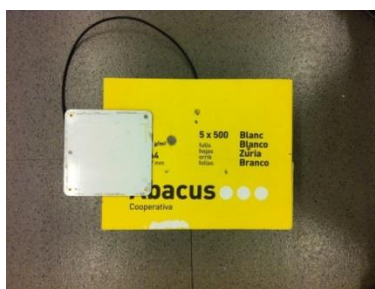


Figura 2.5. Advantenna-p11

- Etiqueta
  - Tag passiu



Figura 2.6. Tag passiu

## CAPÍTOL 3. PROBLEMÀTICA I OBJECTIU

---

### 3.1. PROBLEMÀTICA

---

La problemàtica principal a l'hora de conèixer la posició d'un objecte que conté tecnologia *RFID* és saber la seva posició exacta. Actualment només podem saber per quina antena ha estat llegit l'objecte. Això vol dir que el camp que abraça l'antena no és petit i per tant, l'objecte pot estar situat en diverses posicions i només sabríem que ha estat llegit per aquella antena. Per a solucionar-ho, cercarem diversos mètodes que acotin la posició del *tag* mitjançant una àrea i ens quedarem amb el que retorni l'àrea més petita.

### 3.2. OBJECTIU

---

L'objectiu principal d'aquest treball és trobar un mètode que ens digui la posició de l'objecte mitjançant una àrea el més acurada possible. Per arribar a aquest mètode realitzarem proves de fiabilitat de les mesures que ens genera el lector i basant-nos amb aquestes mesures aplicarem els diversos mètodes per a veure quin ens dóna millors resultats.

### 3.3. DIFERENTS MÈTODES

---

Els diferents mètodes que presentem en aquest treball estan basats en les mesures de potència i fase que proporciona el lector en generar els fitxers *csv*'s amb les lectures. A continuació, mostrem una taula resum amb el nom del mètode, característiques i breu descripció.

Mètode	Característiques	Descripció
<b>Mètode 1</b>	Sense <i>tag</i> de referència Utilitza la potència	Busca crear una àrea mitjançant la mitjana de la potència i la desviació estàndar en cada punt
<b>Mètode 2</b>	Sense <i>tag</i> de referència Utilitza la potència	Busca la posició del <i>tag</i> mitjançant una fórmula polinòmica
<b>Mètode 1 (Variació)</b>	Amb un <i>tag</i> de referència Utilitza la potència	Busca crear una àrea mitjançant la mitjana de la potència i la desviació estàndar en cada punt
<b>Mètode 2 (Variació)</b>	Amb un <i>tag</i> de referència Utilitza la potència	Busca la posició del <i>tag</i> mitjançant una fórmula polinòmica

<b>Mètode 2 (Fórmula)</b>	Amb un <i>tag</i> de referència Utilitza la potència	Busca la posició del tag mitjançant una fórmula polinòmica aplicant els límits de confiança
<b>Mètode 3</b>	Sense <i>tag</i> de referència Utilitza la fase	Busca una àrea per l'eix de les y's amb la mitjana de la fase en cada punt
<b>Mètode 2 (Fórmula) + Mètode 3</b>	Amb un <i>tag</i> de referència Utilitza la potència i fase	Busca la posició del tag mitjançant una fórmula polinòmica aplicant els límits de confiança i ajusta l'àrea amb la fase

*Taula 3.1. Presentació diferents mètodes*

## CAPÍTOL 4. PROVES

### 4.1. PROVES INICIALS

#### Objectiu

L'objectiu d'aquestes proves és mesurar la fiabilitat de les mesures d'*RSSI* (potència) i *PHASE*(fase) del lector *RFID* (*Radio Frequency Identification*) en funció de la distància i orientació respecte el punt mig de l'antena del lector. D'aquesta forma podrem saber aproximadament quin valor d'*RSSI* i *PHASE* tindrà aquella posició en concret.

#### Escenari de proves

L'escenari contindrà el següent equipament:

- 1 ordinador amb el cablejat corresponent per a connectar-ho al lector
- 1 lector *AdvanReader* amb el seu software corresponent
- 1 antena P11 amb el seu cablejat per connectar-ho al lector
- 10 *tag*'s ordenats tal com mostra el següent esquema a sobre un cartró

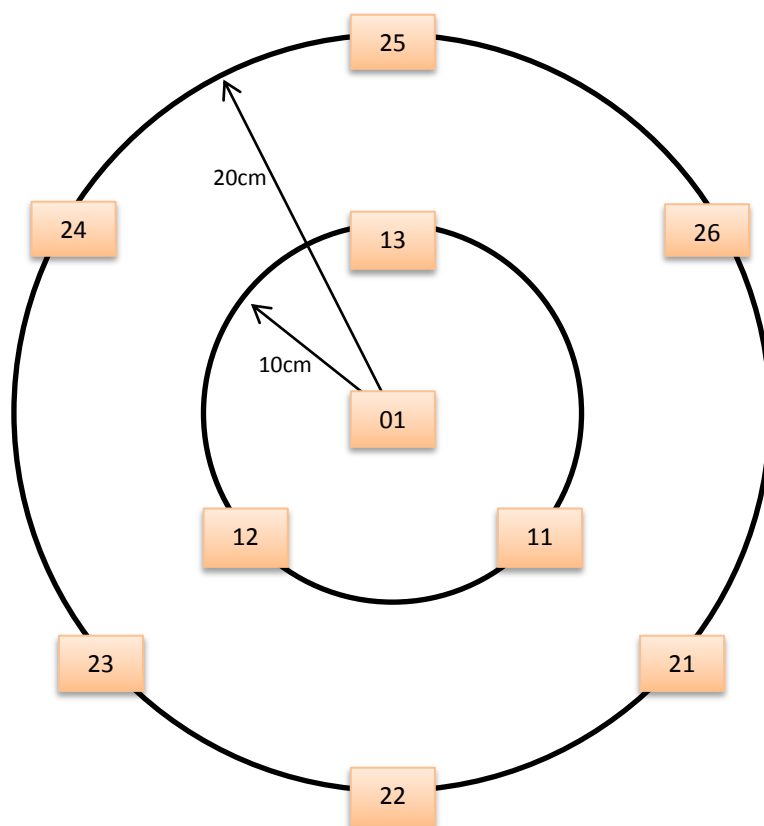


Figura 4.1. Esquema escenari proves inicials

L'esquema està format per dos centres concèntrics. El primer cercle està separat per 10 cm del punt central i el segon cercle té 20 cm de separació sobre el punt central.

Cada *tag* té un nom en concret (*EPC – Electronic Product Code*) segons la seva posició a l'esquema el qual estarà compost pels següents caràcters hexadecimals DAF0 0000 0000 0000 00XY on X és la posició del cercle que pertany i Y és la posició dins el cercle. A l'esquema gràfic anterior podem veure les dues últimes xifres (XY) que falten per acabar de completar el nom del *tag*.

A part d'això, el centre de l'esquema estarà alineat amb el centre de l'antena del lector.

### Paràmetres

- $Q = 8$  (valor de número d'*slots* a llegir per l'antena)
- Filtre aplicat a l'arxiu connectors.xml = ^DAF0.\*\$
- *ReadTime* = 100ms
- *Cycles* = 500

### Execució de les proves

Les proves consistiran en executar la identificació de la potència i la fase, i allunyar l'esquema 1 cm cada cop fins als 200cm, i a partir d'aquí avançar 10cm fins als 350cm. Cada cop que s'executi la identificació es tindrà que generar un arxiu CSV (fitxer *comma-separated values*) que contindrà les dades que ens interessin.

### Imatges de l'escenari

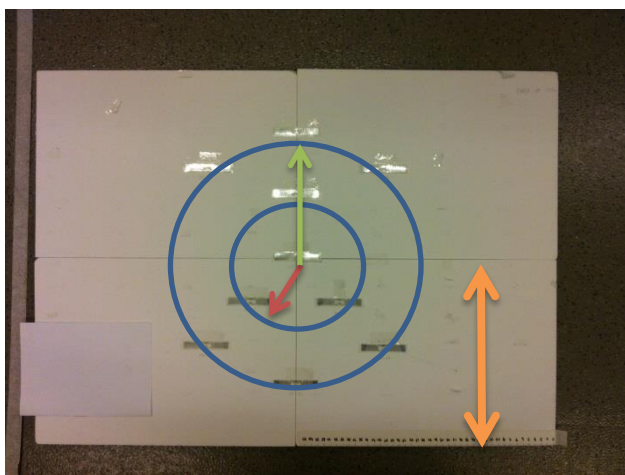


Figura 4.2. (Estructura cartró)

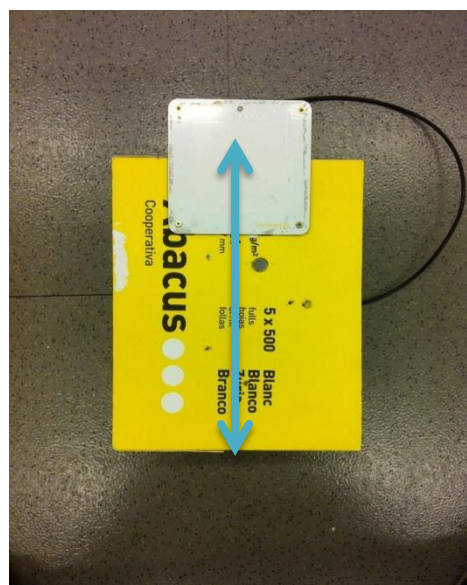


Figura 4.3. (Estructura antena)

En les dues imatges podem veure com queden les dues estructures de l'escenari de proves, l'estructura de cartró (imatge esquerra) i estructura antena (imatge dreta).

Estructura antena (Fig. 4.3.): 29.5 cm des del centre del *reader* fins al terra (fletxa blava).

Estructura cartró (Fig. 4.2.):

- Fletxa taronja: 29.5cm entre el centre del *tag* i el terra.

- Fletxa verda: 20cm des del *tag* central fins els *tag*'s al segon cercle concèntric.
- Fletxa vermella: 10cm des del *tag* central fins els *tag*'s al primer cercle concèntric.

Imatge execució, identificació i creació CSV's

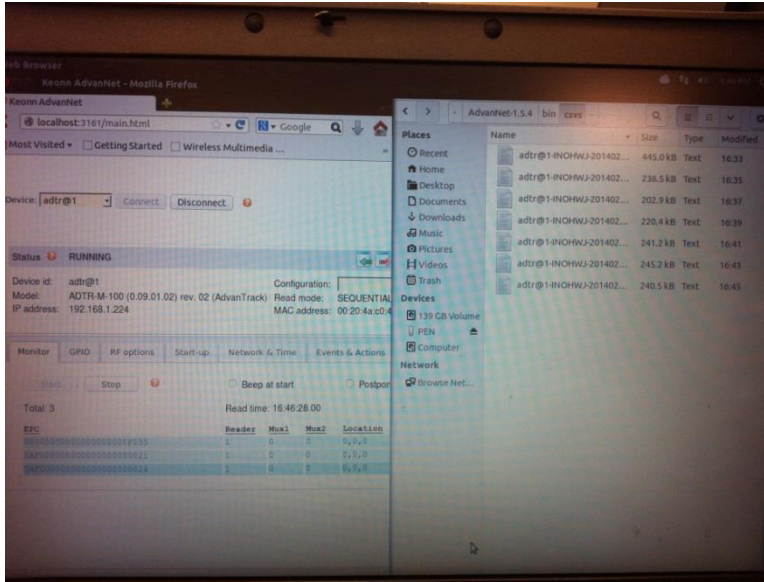


Fig.4.4. Creació *csv*'s. En aquesta figura podem veure a la part esquerra com el lector va llegint els diferents *tag*'s amb la seva corresponent potència i fase. A la part dreta de la imatge es pot veure com es generen els fitxers *csv*.

Fotos durant les proves

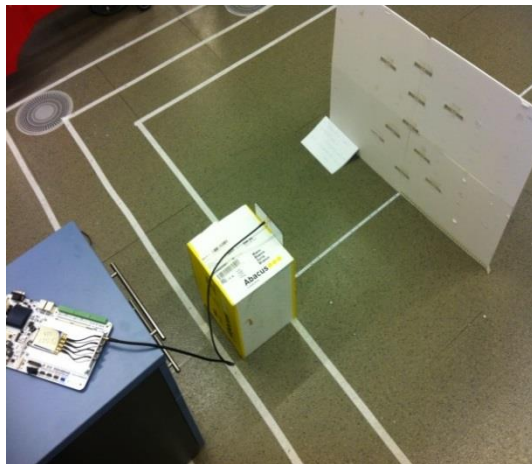


Fig. 4.5.1. Estructura cartró, antena i lector.

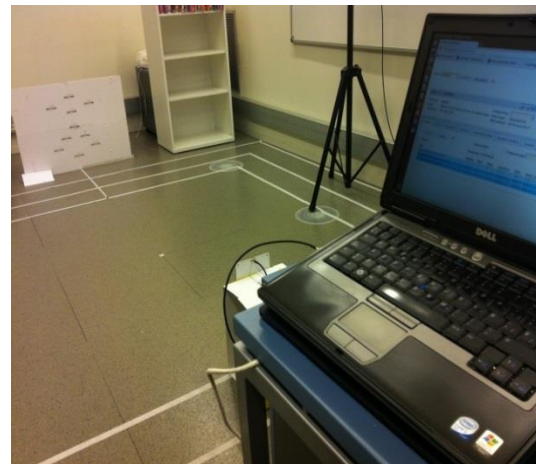


Fig. 4.5.2 Execució software i recull de dades



Fig.4.6, 4.7, 4.8. Fotografies preses des de diferent angles de l'escenari

### Fitxers CSV's

S'han obtingut un total de 215 fitxers .csv. Els primers 200 representen els primers 200cm. Els 15 restants representen les distàncies 210cm, 220cm, 230cm... fins a 350cm.

### Anàlisi de dades (part 1 – Mitjana i desviació estàndard)

Un cop obtinguts els fitxers CSV's , hem creat un *script* amb *Matlab (MATrix LABORatory)* per tal de recollir les dades de potència i fase i realitzar gràfiques per observar-les i veure com es comporten les mesures al llarg de la distància.

Per a fer-ho, l' *script* segueix els següents passos.

- Per a cada arxiu .csv recull les dades de potència i fase de cada *tag*.
- Un cop té les dades, crea la mitjana de potència i fase per a cada *tag* en aquella distància concreta.
- Després, normalitza les distàncies de cada *tag*, és a dir, prenent com a referència el centre de l'antena calcula la distància d'aquest centre fins al centre del *tag*.
- Finalment, crea una gràfica per a cada *tag* que conté la mitjana de les mostres del *tag* en aquella posició amb barres d'error (desviació estàndard en aquella posició). Així per a cada distància mostra la mitjana amb la desviació estàndard corresponent. Això ho fa per a cada *tag* i per les mesures de potència i fase.

### Resultats de les proves RSSI (Exemple pel *tag* amb l'etiqueta DAF0 0000 0000 0000 0000 0001)

A continuació podem veure el resultat de la gràfica per a la potència.

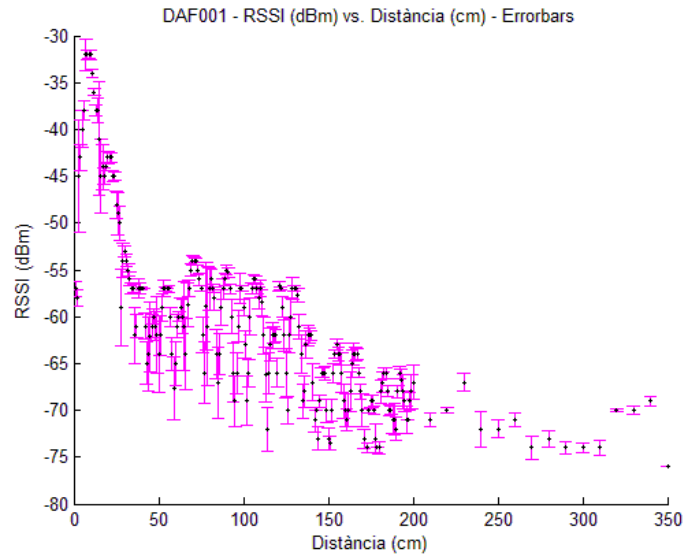


Figura 4.9. RSSI vs. Distància - DAF0...0001

En aquesta figura podem veure com evolucionen les mesures de la potència (*Decibel-milliwatts*) al llarg de la distància on cada punt negre és la mitjana de totes les mostres recollides i la barra de color magenta és la barra d'error, és a dir, la desviació estàndard en aquell punt.

Resultats de les proves PHASE (Exemple pel tag amb l'etiqueta DAF0 0000 0000 0000 0000 0001)

A continuació podem veure el resultat de la gràfica per a la fase.

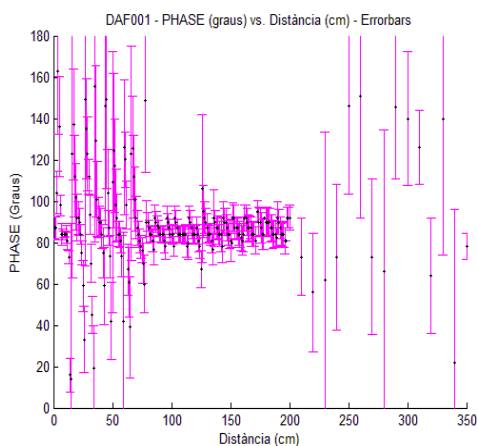


Figura 4.10. Fase vs. Distància – DAF00001

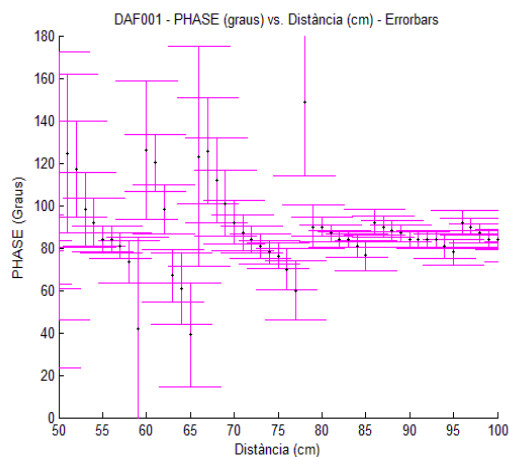


Figura 4.11. Fase vs. Distància – DAF00001(Zoom)

En aquesta figura podem veure com evolucionen les mesures de la fase (graus) al llarg de la distància on cada punt negre és la mitjana de totes les mostres recollides i la barra de color magenta és la barra d'error, és a dir, la desviació estàndard en aquell punt.

## Anàlisi de dades (part 2 – Curve Fitting)

Un cop obtingudes les gràfiques de la potència hem passat a crear una funció polinòmica de grau 9 que les representi. Això ho hem aconseguit mitjançant un *script* amb *Matlab* que segueix els següents passos:

- Per a cada punt de la gràfica (on aquest punt és la mitjana), si el punt no té valor l'eliminem. (Això ho fem perquè la funció que apliquem amb *Matlab* no accepta no-valors.)
- Apliquem la funció *fit* (*curve fitting*) amb *Matlab*.
- Dibuixem la gràfica resultant.

### Resultat d'aplicar el *curve fitting* per al tag DAF0 0000 0000 0000 0000 0001

A la figura següent podem veure com evoluciona la potència envers a la distància, on els punts blaus són la mitjana de les mostres de la potència en aquella posició i la corba roja és la funció polinòmica corresponent de grau 9.

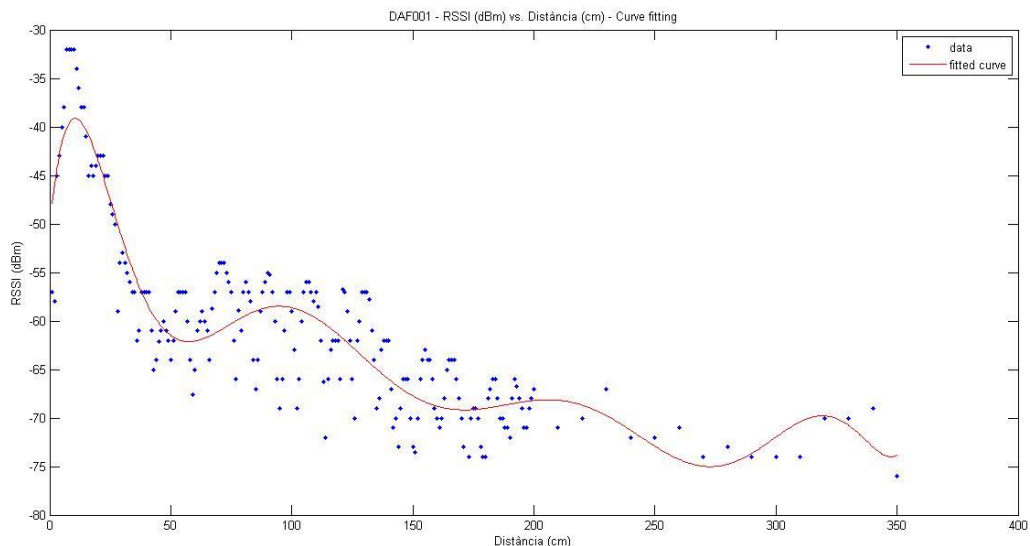


Figura 4.12. Potència vs. Distància – DAF00001 Curve Fitting

I obtenim també la funció corresponent (entre parèntesis tenim els límits de confiança d'aquesta funció). Amb aquesta funció podrem trobar, a partir d'una potència a quina x (distància) es troba aquella potència:

*Linear model Poly9:*

$$f(x) = p1*x^9 + p2*x^8 + p3*x^7 + p4*x^6 + p5*x^5 + p6*x^4 + p7*x^3 + p8*x^2 + p9*x + p10$$

*Coefficients (with 95% confidence bounds):*

$$\begin{aligned} p1 &= 4.519e-18 \quad (2.787e-18, 6.251e-18) \\ p2 &= -7.521e-15 \quad (-1.017e-14, -4.875e-15) \\ p3 &= 5.251e-12 \quad (3.558e-12, 6.944e-12) \\ p4 &= -1.995e-09 \quad (-2.583e-09, -1.406e-09) \\ p5 &= 4.467e-07 \quad (3.257e-07, 5.678e-07) \end{aligned}$$

$p6 = -5.969e-05$  (-7.467e-05, -4.471e-05)  
 $p7 = 0.004568$  (0.003483, 0.005654)  
 $p8 = -0.1784$  (-0.2211, -0.1357)  
 $p9 = 2.489$  (1.714, 3.265)  
 $p10 = -50.22$  (-54.82, -45.62)

## 4.2. INTRODUCCIÓ ALS EXPERIMENTS

Un cop preses les mesures de fiabilitat de *RSSI* i *Phase*, i el anàlisi pertinent a cada tag, passarem a aplicar els diferents mètodes per a trobar el mètode més precís. L'escenari serà la prestatgeria intel·ligent com ja s'ha presentat a l'apartat *Escenari* i els *tag's* i l'equipament seran els mateixos que hem emprat a les proves anteriors. A les següents fotografies es pot observar la part davantera on es realitzaran els experiments i la posterior.



Figura 4.13. Imatge davantera escenari

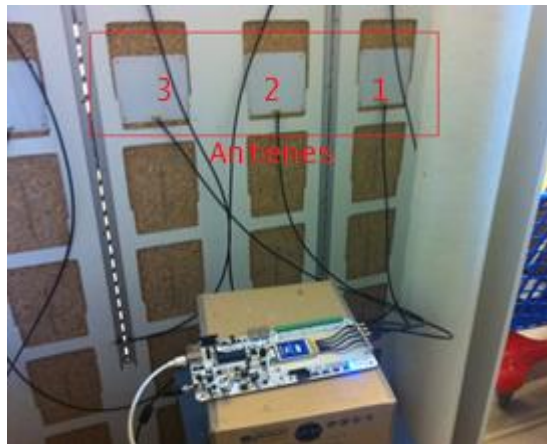


Figura 4.14. Imatge antenes posterior

A la fotografia de l'esquerra podem observar en vermell l'àrea amb la qual treballarem. A la de la dreta podem veure les tres antenes que utilitzarem per a realitzar els diversos experiments. L'escenari amb el qual treballarem (part davantera de la prestatgeria) té una àrea de 106cm d'amplada (eix de les x's) i 37cm de profunditat (eix de les y's). A partir d'ara, per presentar els diferents mètodes utilitzarem una recreació gràfica de la prestatgeria vista des de dalt, similar a la figura següent:

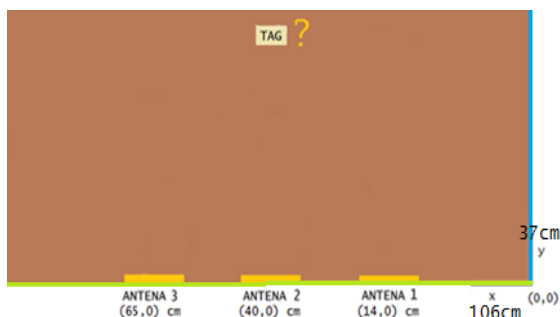


Figura 4.15. Recreació escenari



Figura 4.16. Recreació escenari real

### 4.3. DIAGRAMA DE RADIACIÓ I ALTRES PARÀMETRES

Abans de realitzar els experiments tenim que considerar diversos paràmetres que poden afectar als resultats. En un escenari ideal, les mesures *RSSI* i *Phase* serien les mateixes en el cada mesura de radi de l'antena, però això no és així, ja que el hardware no és perfecte. Podem veure una il·lustració (escenari ideal a l'esquerra, real a la dreta):

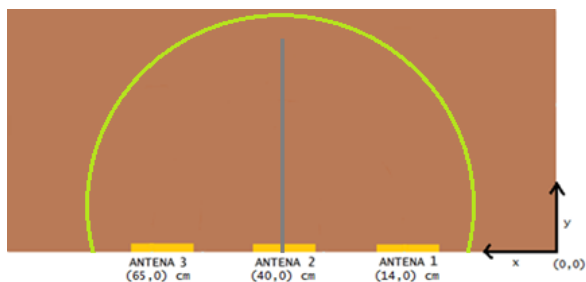


Figura 4.17. Radiació ideal

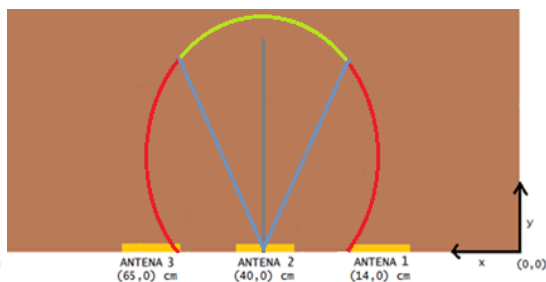


Figura 4.18. Radiació real

El que volem representar és que en tot el radi verd (figura esquerra), tindria les mateixes mesures de *RSSI* i *Phase* ja que és un escenari ideal. En un escenari real, durant tot el radi vermell les mesures canviarien i durant tot el verd serien iguals. Això ho sabem gràcies al diagrama de radiació de l'antena que es troba al data sheet[16], un document del fabricant de l'antena que reuneix les característiques i el funcionament. Aquest angle és de 50 graus respecte a la vertical, llavors fent càlculs obtenim el resultat següent:

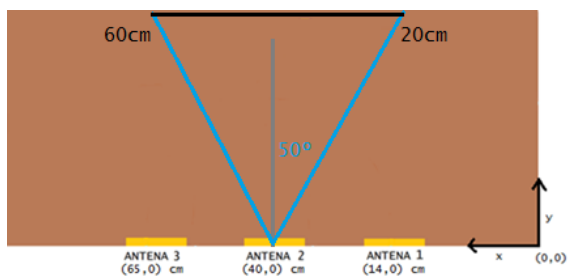


Figura 4.19. Camp radiació antena

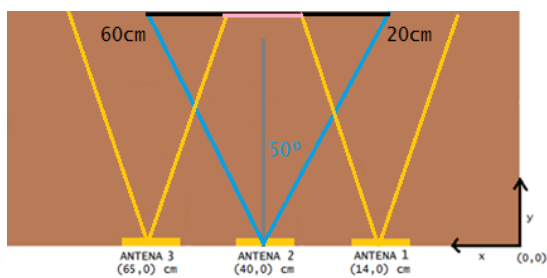


Figura 4.20. Camp radiació resultant antenes

Aquest resultat ens diuen que hem de treballar sobre el rang [20cm,60cm] i així les mesures no variaran. Si apliquem el mateix sobre les altres dues antenes ens queda un rang amb el qual podem treballar de [30,50] cm sobre l'eix de les x's (figura de la dreta color rosa).

A part d'aquest problema, gràcies a les gràfiques i resultats de les proves inicials ens hem adonat, que les antenes treballen millor (els resultats són més fiables) si el tag es troba separat (allunyat) de l'antena, uns 20cm fins a 80cm.

Per tant, els experiments els realitzarem sobre 34cm en el eix de les y's i anirem movent els tags sobre [30,50] cm sobre l'eix de les x's.

### Paràmetres

Cada un dels experiments realitzats en cada un dels mètodes té els següents paràmetres:

- $Q = 8$  (valor de número d'*slots* a llegir per l'antena)
- Filtre aplicat a l'arxiu connectors.xml = ^DAF0.\*\$
- *ReadTime* = 100ms
- *Cycles* = 50 (per aconseguir 50 lectures del *tag* per cada antena)

## 4.4. TRIANGULACIÓ CIRCULAR

---

### Introducció

La triangulació circular serà la base de diversos mètodes que veurem a continuació, concretament del mètode 1 i 2 i combinacions que explicarem als posteriors capítols.

### Objectiu

L'objectiu de la triangulació circular és trobar una o diverses interseccions mitjançant dues o més circumferències. Nosaltres ho adaptarem al nostre escenari amb les següents característiques:

- Mitjançant sis circumferències centrades en una posició fixa (dos circumferències per cada antena), trobarem una àrea que interseccioni amb les tres àrees obtingudes.
- El radi de cada circumferència té relació amb la potència rebuda.
- Les mesures poden estar distorsionades a causa dels rebots de la senyal, objectes, etc.
- Com més lluny està el *tag*, més error de precisió tenim.

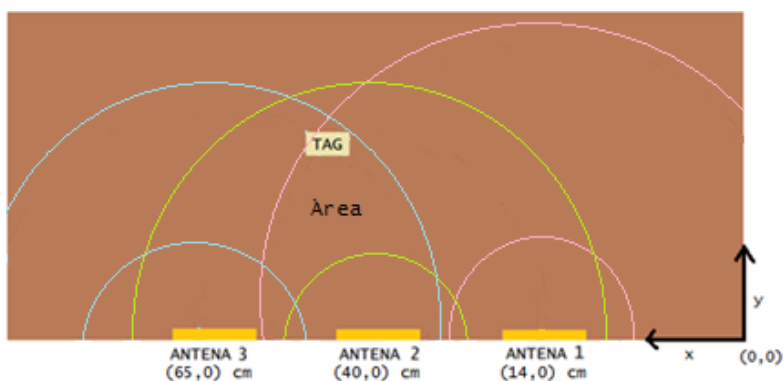


Figura 4.21. Interseccions àrees triangulació circular

## 4.5. TRIANGULACIÓ CIRCULAR – MÈTODE 1

### Objectiu

Aquest mètode està basat amb les gràfiques resultants extretes mitjançant l'anàlisi de les dades (part 1). Es basa amb les mesures de la potència i amb un tag sense utilitzar-ne cap altre com a referència. L'objectiu d'aquest mètode és trobar una àrea el més acurada possible que ens digui on està el tag per mitjà d'una potència que ens donarà el lector gràcies a la lectura d'aquesta per tres antenes diferents. Els passos són els següents.

- Pas 1. El tag a localitzar on la seva posició és desconeguda.

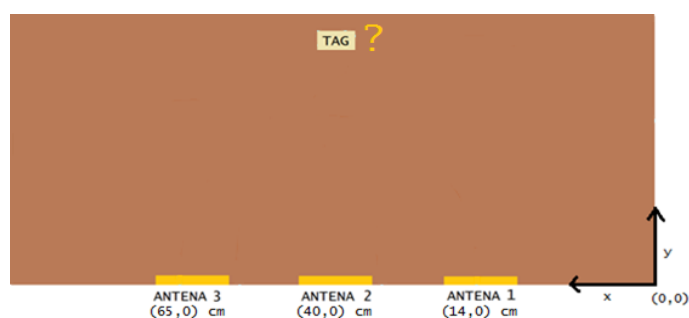


Figura 4.22. Localització tag mètode 1

- Pas 2. Execució, identificació i creació d'un fitxer csv en concret per aquell tag.
- Pas 3. Valor de la mitjana del total de mostres de la potència per a cada antena.
- Pas 4. A partir d'aquest valor observar la gràfica corresponent a aquell tag. Veure on intersecciona aquest valor contant la desviació estàndard de cada punt.

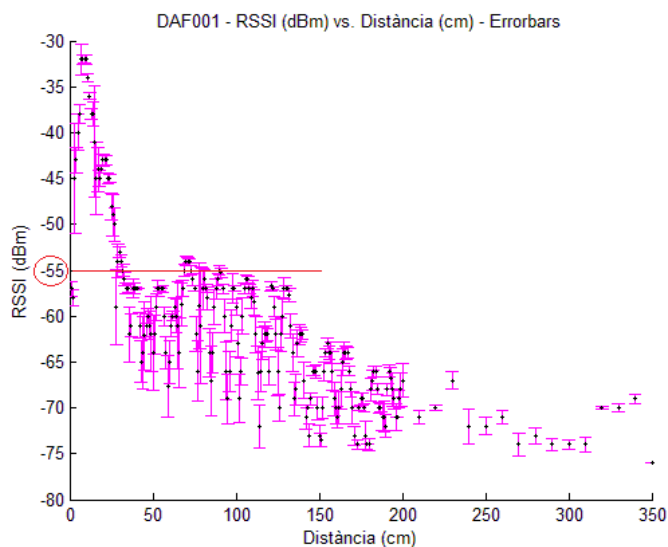


Figura 4.23. Cerca radis mètode 1 (part 1)

- Pas 5. Agafar el valor de la distància més gran i més petit

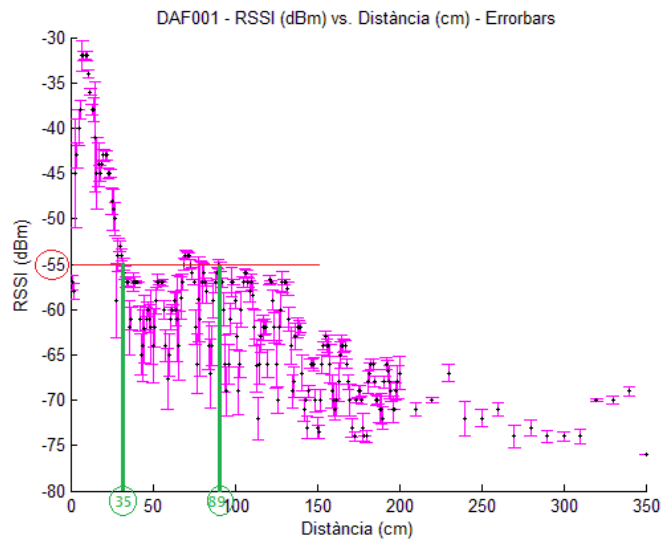


Figura 4.24. Cerca radis mètode 1 (part 2)

- Pas 6. Repetir el pas 4 i 5 per les altres dos antenes.
- Pas 7. Calcular la intersecció de les 3 àrees resultants.

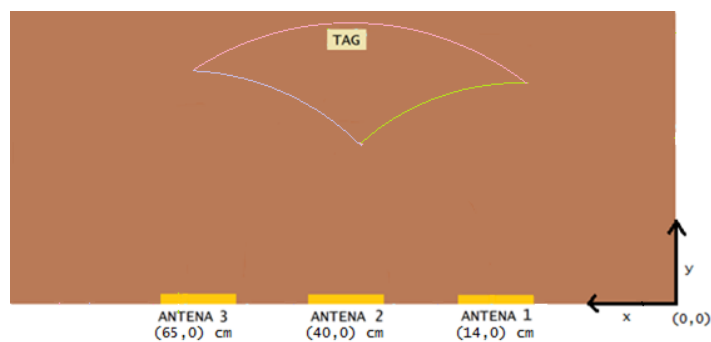


Figura 4.25. Intersecció resultant mètode 1

## Resultats

A continuació presentem els diferents resultats que hem obtingut.

### Experiment 1

El tag DAF0 0000 0000 0000 0000 0001 està situat a la posició  $x = 30\text{cm}$  |  $y = 34\text{cm}$ .

Per a localitzar el tag executem el software AdvanNet per a crear el fitxer *csv* i aconseguir les lectures del tag en qüestió. Un cop obtingudes les lectures, calculem la mitjana de la potència per a cada una de les antenes.

Seguidament, per cada mitjana RSSI obtinguda cerquem a la gràfica de la potència de DAF001 de les proves inicials, els radis per aquella mitjana de potència en qüestió.

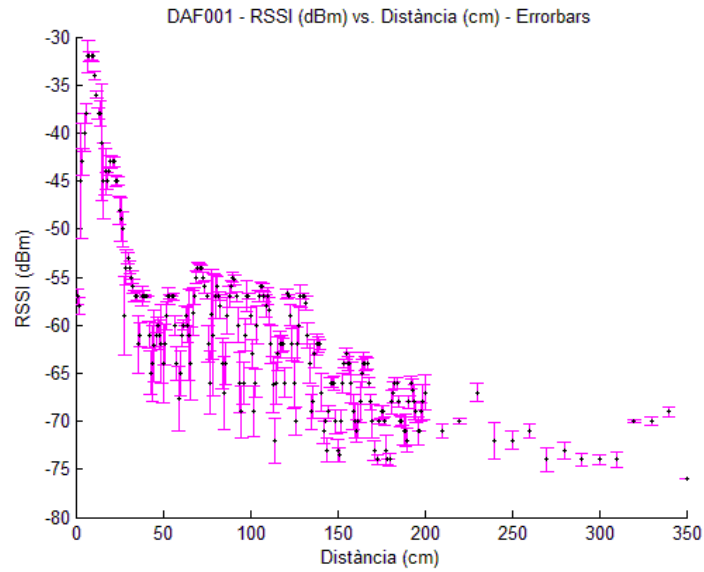


Figura 4.26. Cerca de radis – Exp 1

Els resultats obtinguts els representem amb una taula.

	Mitjana RSSI	Radi 1	Radi 2
Antena 1	-44dBm	15cm	19cm
Antena 2	-45dBm	15cm	24cm
Antena 3	-49dBm	25cm	27cm

Taula 4.1. Resultats DAF00001- Experiment 1

Finalment ho representem amb un esquema gràfic.

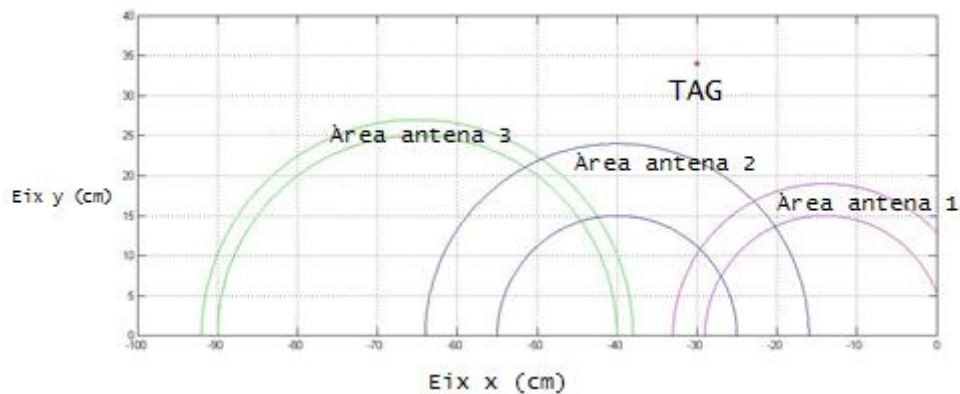


Figura 4.27. Intersecció tres àrees – Experiment 1

## Experiment 2

El tag DAF0 0000 0000 0000 0001 està situat a la posició  $x = 50\text{cm}$  |  $y = 34\text{cm}$

Per a localitzar el tag executem el software AdvanNet per a crear el fitxer csv i aconseguir les lectures del tag en qüestió. Un cop obtingudes les lectures, calculem la mitjana de la potència per a cada una de les antenes.

Seguidament per a cada mitjana RSSI obtinguda, cerquem a la gràfica de la potència de DAF001 de les proves inicials, els radis per aquella mitjana de potència en qüestió.

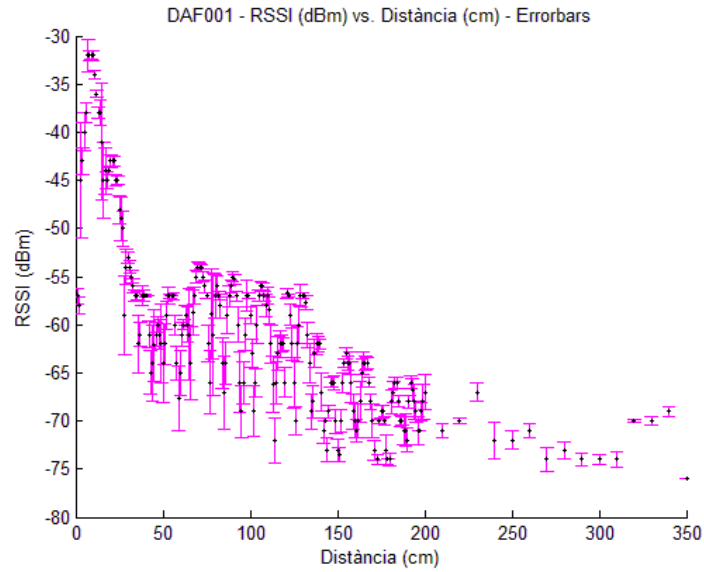


Figura 4.28. Cerca de radis- Exp 2

Els resultats obtinguts els representem amb una taula.

	Mitjana RSSI	Radi 1	Radi 2
Antena 1	-47dBm	15cm	26cm
Antena 2	-37dBm	13cm	15cm
Antena 3	-43dBm	15cm	22cm

Taula 4.2. Resultats DAF00001- Experiment 2

Finalment ho representem amb un esquema gràfic.

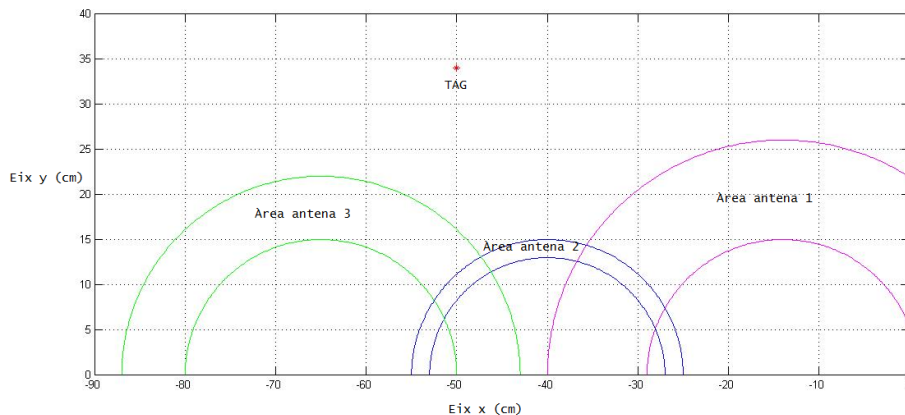


Figura 4.29. Intersecció tres àrees – Experiment 2

## Conclusions

Com podem veure als resultats d'aquests dos experiments, l'àrea d'intersecció de les tres circumferències no és suficient per a localitzar el tag dins. Per tant, aquest mètode no ens serveix.

## 4.6. TRIANGULACIÓ CIRCULAR – MÈTODE 2

### Objectiu

Aquest mètode està basat amb les gràfiques resultants extretes mitjançant l'anàlisi de les dades (part 2). L'objectiu d'aquest mètode és trobar una àrea el més acurada possible que ens digui on està el *tag* mitjançant una potència que ens donarà el lector gràcies a la lectura d'aquesta per tres antenes diferents aplicant-la a la fórmula extreta amb el *curve fitting*. Aquest mètode tampoc utilitza cap *tag* de referència. Els passos són els següents.

- Pas 1. El *tag* a localitzar on la seva posició és desconeguda.

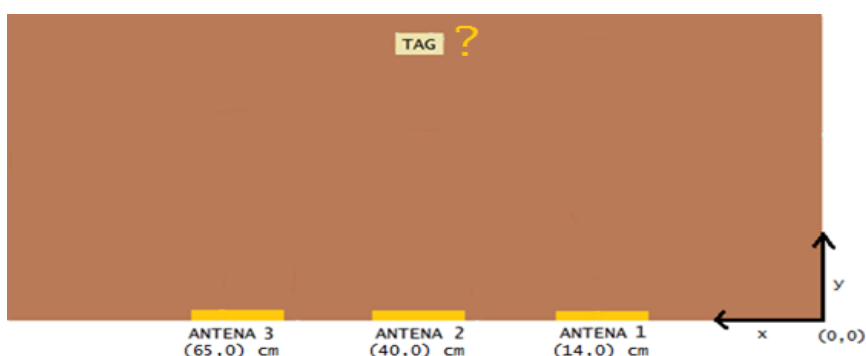


Figura 4.30. Tag a localitzar mètode 2

- Pas 2. Execució, identificació i creació d'un fitxer *csv* en concret per aquell *tag*.
- Pas 3. Valor de la mitjana del total de mostres de la potència per a cada antena.
- Pas 4. A partir d'aquest valor aplicar la fórmula polinòmica de grau 9.
- Pas 5. Calcular la intersecció de les 3 àrees resultants.

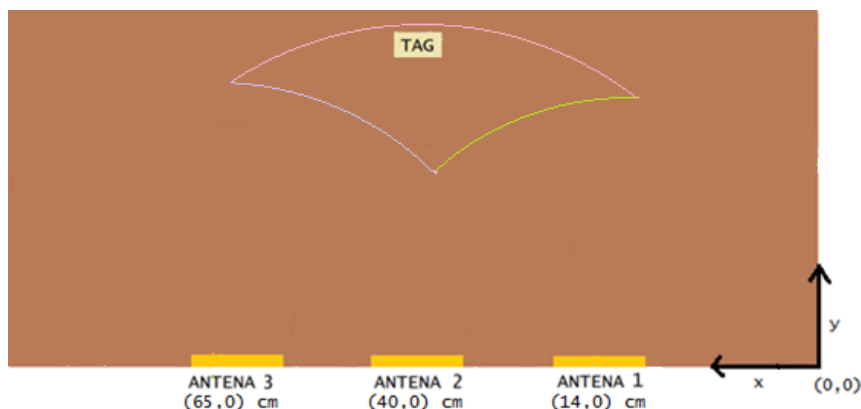


Figura 4.31. Resultat àrea mètode 2

### Experiment 1

El *tag* DAF0 0000 0000 0000 0000 0001 està situat a la posició  $x = 30\text{cm}$  |  $y = 34\text{cm}$

Executem el software AdvanNet per aconseguir les lectures del *tag* a localitzar i el fitxer *csv*. Un cop obtingudes calculem la mitjana de la potència per a cada antena. Llavors per a cada mitjana RSSI apliquem la següent fórmula.

Linear model Poly9:

$$f(x) = p1*x^9 + p2*x^8 + p3*x^7 + p4*x^6 + p5*x^5 + p6*x^4 + p7*x^3 + p8*x^2 + p9*x + p10$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 = 4.519e-18 (2.787e-18, 6.251e-18)  
p2 = -7.521e-15 (-1.017e-14, -4.875e-15)  
p3 = 5.251e-12 (3.558e-12, 6.944e-12)  
p4 = -1.995e-09 (-2.583e-09, -1.406e-09)  
p5 = 4.467e-07 (3.257e-07, 5.678e-07)  
p6 = -5.969e-05 (-7.467e-05, -4.471e-05)  
p7 = 0.004568 (0.003483, 0.005654)  
p8 = -0.1784 (-0.2211, -0.1357)  
p9 = 2.489 (1.714, 3.265)  
p10 = -50.22 (-54.82, -45.62)

I aplicant la fórmula sobre la mitjana de la potència en cada antena tenim:

Antena 1 → 20.2cm de radi per una potència de -44dBm

Antena 2 → 21.92cm de radi per una potència de -45dBm

Antena 3 → 26.77cm de radi per una potència de -49dBm

A partir de les interseccions dels radis de les antenes es crea la següent gràfica on es pot veure que el punt vermell és la posició del tag real i els punts taronges la posició estimada del tag.

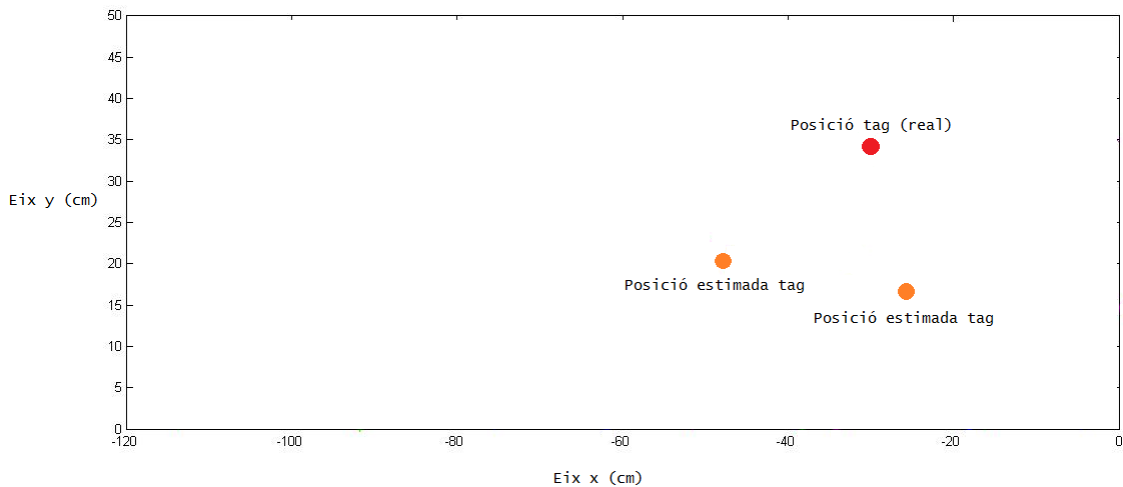


Figura 4.32. Posicions tag's experiment 1

## Experiment 2

El tag DAF0 0000 0000 0000 0001 està situat a la posició x = 50cm | y = 34cm

Executem el software AdvanNet per aconseguir les lectures del tag a localitzar i el fitxer csv. Un cop obtingudes calculem la mitjana de la potència per a cada antena. Llavors per a cada mitjana RSSI apliquem la següent fórmula.

Linear model Poly9:

$$f(x) = p1*x^9 + p2*x^8 + p3*x^7 + p4*x^6 +$$

$$p5*x^5 + p6*x^4 + p7*x^3 + p8*x^2 + p9*x + p10$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 = 4.519e-18 (2.787e-18, 6.251e-18)  
 p2 = -7.521e-15 (-1.017e-14, -4.875e-15)  
 p3 = 5.251e-12 (3.558e-12, 6.944e-12)  
 p4 = -1.995e-09 (-2.583e-09, -1.406e-09)  
 p5 = 4.467e-07 (3.257e-07, 5.678e-07)  
 p6 = -5.969e-05 (-7.467e-05, -4.471e-05)  
 p7 = 0.004568 (0.003483, 0.005654)  
 p8 = -0.1784 (-0.2211, -0.1357)  
 p9 = 2.489 (1.714, 3.265)  
 p10 = -50.22 (-54.82, -45.62)

I aplicant la fórmula sobre la mitjana de la potència en cada antena tenim:

Antena 1 → 24.36cm de radi per una potència de -47dBm

Antena 2 → 10cm de radi per una potència de -37dBm

Antena 3 → 19.33cm de radi per una potència de -43dBm

A partir de les interseccions dels radis de les antenes es crea la següent gràfica on es pot veure que el punt vermell és la posició del tag real i els punts taronges la posició estimada del tag.

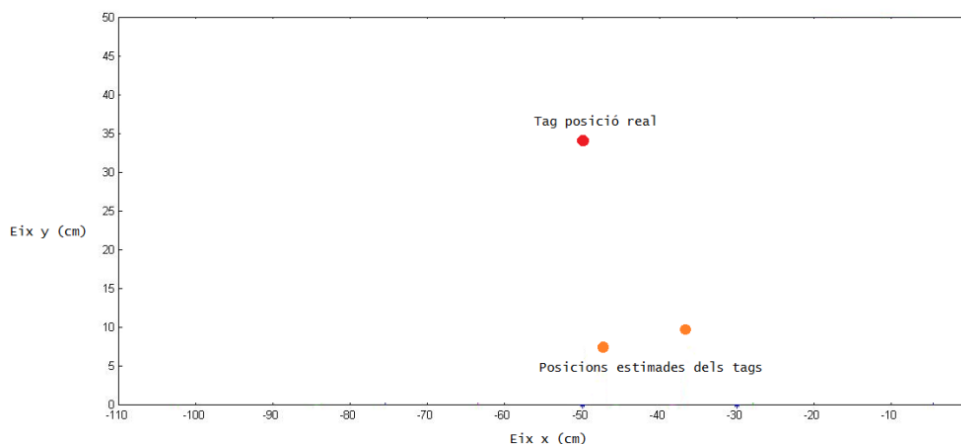


Figura 4.33. Posicions tag's experiment 2

## Conclusions

En aquests experiments ens hem adonat també que aquest mètode no ens funciona ja que la posició estimada del tag dista molt de la posició real.

## **4.7. TRIANGULACIÓ CIRCULAR – MÈTODE 1 (Variació)**

### Objectiu

A partir del mètode 1 ara hi anem a afegir una variació que serà afegir un altre tag on la seva posició serà coneguda. Concretament el tag a afegir serà el DAF0 0000 0000 0000 0000 0001. Els passos són molt similars amb els del mètode 1:

- Pas 1. Els *tag*'s a localitzar on la posició de DAF0 0000 0000 0000 0000 0001 és desconeguda i la del DAF0 0000 0000 0000 0000 0011 és coneguda.
- Pas 2. Execució, identificació i creació d'un fitxer *csv* en concret per aquells *tag*'s.
- Pas 3. Valor de la mitjana del total de mostres de la potència per a cada antena en cada *tag*.
- Pas 4. Com que sabem la posició del *tag* DAF0...0011, també sabem la potència en aquella posició gràcies a les proves inicials. Llavors restem la mitjana de la potència real amb la potència estimada i ens donarà un valor.
- Pas 5. Aquest valor (pas 4) li restem a la mitjana de potència estimada del *tag* DAF0...0001.
- Pas 6. A partir d'aquest valor (pas 5) observar la gràfica corresponent a aquell *tag*. Veure on intersecciona aquest valor contant la desviació estàndard de cada punt.
- Pas 5. Agafar el valor de la distància més gran i més petit.
- Pas 6. Repetir el pas 4,5 i 6 per les altres dues antenes.
- Pas 7. Calcular la intersecció de les 3 àrees resultants.

### Experiment 1

DAF0...0001 situat a  $x = 50\text{cm}$  |  $y = 34\text{cm}$  (*tag* a localitzar on la seva posició no la sabem)

DAF0...0011 situat a  $x = 40\text{cm}$  |  $y = 34\text{cm}$  (*tag* a localitzar on la seva posició sí la sabem)

Executem el software AdvanNet per obtenir les lectures dels dos *tag*'s. Seguidament calculem la mitjana RSSI per a cada antena i *tag*. Com que ja sabem la posició del *tag* DAF011 i per tant la seva potència (gràcies a les proves inicials) fem la resta de la seva potència real amb la mitjana de la potència obtinguda. Amb aquest valor ajustem el valor de la potència del *tag* DAF001. Amb aquest nou valor de la potència busquem els radis com em fet al mètode 1 sense variació.

Els resultats obtinguts són els següents:

Antena 1 → (DAF0...0001) Mitjana RSSI pronosticada amb *tag* referència = -63dBm

$r_1 = 28\text{cm}$  |  $r_2 = 79\text{cm}$

Antena 2 → (DAF0...0001) Mitjana RSSI pronosticada amb *tag* referència = -48dBm

$r_1 = 16\text{cm}$  |  $r_2 = 25\text{cm}$

Antena 3 → (DAF0...0001) Mitjana RSSI pronosticada amb *tag* referència = -55dBm

$r_1 = 28\text{cm}$  |  $r_2 = 69\text{cm}$

Àrea total pronosticada (calculada a partir de les interseccions dels radis de les antenes):

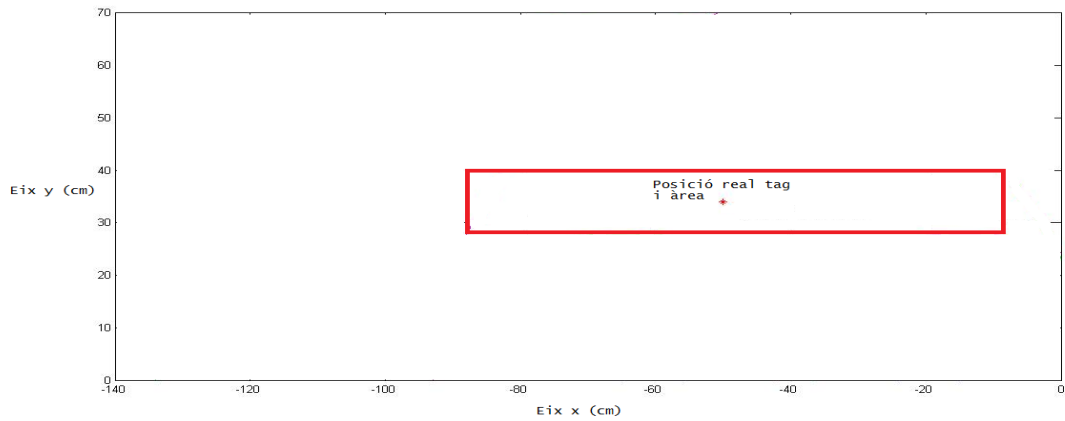


Figura 4.34. Posicions tag i àrea experiment 1

## Experiment 2

DAF0...0001 situat a  $x = 50\text{cm}$  |  $y = 34\text{cm}$  (*tag* a localitzar on la seva posició no la sabem)

DAF0...0011 situat a  $x = 30\text{cm}$  |  $y = 34\text{cm}$  (*tag* a localitzar on la seva posició sí la sabem)

Executem el software AdvanNet per obtenir les lectures dels dos *tag*'s. Seguidament calculem la mitjana RSSI per a cada antena i *tag*. Com que ja sabem la posició del tag DAF011 i per tant la seva potència (gràcies a les proves inicials) fem la resta de la seva potència real amb la mitjana de la potència obtinguda. Amb aquest valor ajustem el valor de la potència del *tag* DAF001. Amb aquest nou valor de la potència busquem els radis com em fet al mètode 1 sense variació.

Els resultats obtinguts són els següents:

Antena 1 → (DAF0...0001) Mitjana RSSI pronosticada amb tag referència = -61dBm

$r1 = 28\text{cm}$  |  $r2 = 79\text{cm}$

Antena 2 → (DAF0...0001) Mitjana RSSI pronosticada amb tag referència = -56dBm

$r1 = 28\text{cm}$  |  $r2 = 74\text{cm}$

Antena 3 → (DAF0...0001) Mitjana RSSI pronosticada amb tag referència = -60dBm

$r1 = 28\text{cm}$  |  $r2 = 79\text{cm}$

Àrea total pronosticada (calculada a partir de les interseccions dels radis de les antenes):

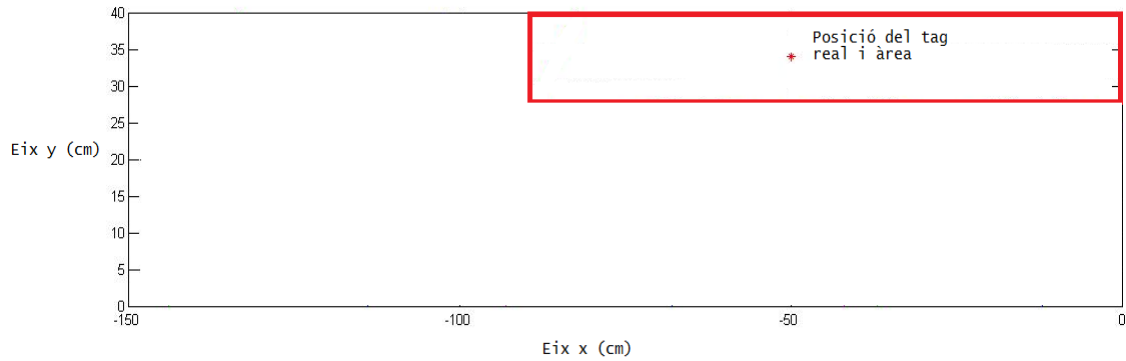


Figura 4.35. Posicions tag i àrea experiment 2

## Conclusions

Com podem veure als experiments, el *tag* es troba dins l'àrea resultant però l'àrea és massa gran i encara no podem donar els resultats com a òptims.

## **4.8. TRIANGULACIÓ CIRCULAR – MÈTODE 2 (Variació)**

---

### Objectius

Aquest mètode es basa amb el mètode 2 però amb la variació d'afegir un *tag* de referència on sabem la seva posició i potència ja des d'un inici. Els passos són els següents.

- Pas 1. Els *tag's* a localitzar on la posició de DAF0 0000 0000 0000 0000 0001 és desconeguda i la del DAF0 0000 0000 0000 0000 0011 és coneguda.
- Pas 2. Execució, identificació i creació d'un fitxer *csv* en concret per aquells *tag's*.
- Pas 3. Valor de la mitjana del total de mostres de la potència per a cada antena a cada *tag*.
- Pas 4. Com que sabem la posició del tag DAF0...0011, també sabem la potència en aquella posició gràcies a les proves inicials. Llavors restem la mitjana de la potència real amb la potència estimada i ens donarà un valor.
- Pas 5. Aquest valor (pas 4) li restem a la mitjana de potència estimada del tag DAF0...0001.
- Pas 6. A partir d'aquest valor (pas 5) aplicar la fórmula polinòmica de grau 9.
- Pas 7. Calcular la intersecció de les 3 àrees resultants.

### Experiment 1

DAF0...0001 situat a  $x = 50\text{cm}$  |  $y = 34\text{cm}$

DAF0...0011 situat a  $x = 30\text{cm}$  |  $y = 34\text{cm}$

Executem el software AdvanNet per obtenir les lectures dels dos *tag*'s. Seguidament calculem la mitjana RSSI per a cada antena i *tag*. Com que ja sabem la posició del tag DAF011 i per tant la seva potència (gràcies a les proves inicials) fem la resta de la seva potència real amb la mitjana de la potència obtinguda. Amb aquest valor ajustem el valor de la potència del *tag* DAF001. Amb aquest nou valor apliquem la fórmula corresponent a DAF001.

*Linear model Poly9:*

$$f(x) = p1*x^9 + p2*x^8 + p3*x^7 + p4*x^6 + p5*x^5 + p6*x^4 + p7*x^3 + p8*x^2 + p9*x + p10$$

*Coefficients (with 95% confidence bounds):*

p1 = 4.519e-18 (2.787e-18, 6.251e-18)  
p2 = -7.521e-15 (-1.017e-14, -4.875e-15)  
p3 = 5.251e-12 (3.558e-12, 6.944e-12)  
p4 = -1.995e-09 (-2.583e-09, -1.406e-09)  
p5 = 4.467e-07 (3.257e-07, 5.678e-07)  
p6 = -5.969e-05 (-7.467e-05, -4.471e-05)  
p7 = 0.004568 (0.003483, 0.005654)  
p8 = -0.1784 (-0.2211, -0.1357)  
p9 = 2.489 (1.714, 3.265)  
p10 = -50.22 (-54.82, -45.62)

I aplicant la fórmula sobre la mitjana de la potència en cada antena tenim:

*Antena 1:*

DAF011: Mitjana RSSI obtinguda: -43dBm | Mitjana RSSI real: -53dBm

DAF001: Mitjana RSSI obtinguda: -49dBm | Mitjana RSSI pronosticada: -59dBm

DAF001: Radi real: 49.5cm | Radi pronosticat: 42cm

*Antena 2:*

DAF011: Mitjana RSSI obtinguda: -33dBm | Mitjana RSSI real: -53dBm

DAF001: Mitjana RSSI obtinguda: -36dBm | Mitjana RSSI pronosticada: -56dBm

DAF001: Radi real: 35.5cm | Radi pronosticat: 36.25cm

*Antena 3:*

DAF011: Mitjana RSSI obtinguda: -51dBm | Mitjana RSSI real: -57dBm

DAF001: Mitjana RSSI obtinguda: -41dBm | Mitjana RSSI pronosticada: -47dBm

DAF001: Radi real: 37cm | Radi pronosticat: 24.38cm

A partir de les interseccions dels radis de les antenes es crea la següent gràfica on es pot veure que el punt vermell és la posició del *tag* real i els punts taronges la posició estimada del *tag*.

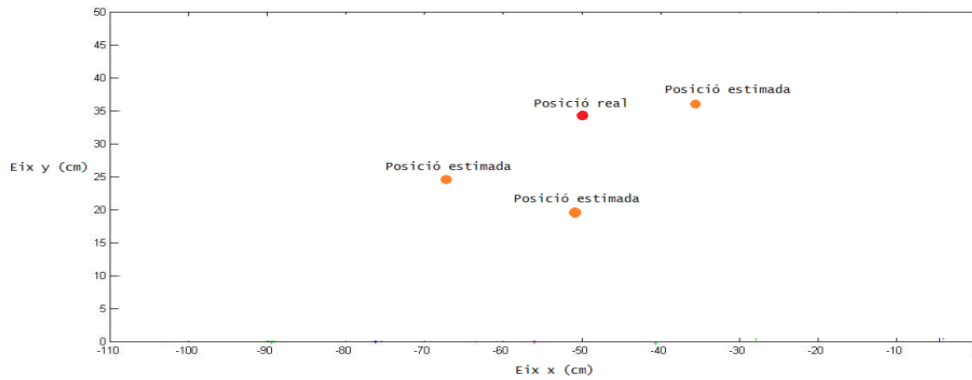


Figura 4.36. Posicions tag's experiment 1

## Experiment 2

DAF0...0001 situat a  $x = 30\text{cm}$  |  $y = 34\text{cm}$

DAF0...0011 situat a  $x = 50\text{cm}$  |  $y = 34\text{cm}$

Executem el software AdvanNet per obtenir les lectures dels dos *tag's*. Seguidament calculem la mitjana RSSI per a cada antena i *tag*. Com que ja sabem la posició del tag DAF011 i per tant la seva potència (gràcies a les proves inicials) fem la resta de la seva potència real amb la mitjana de la potència obtinguda. Amb aquest valor ajustem el valor de la potència del *tag* DAF001. Amb aquest nou valor apliquem la fórmula corresponent a DAF001.

Linear model Poly9:

$$f(x) = p1*x^9 + p2*x^8 + p3*x^7 + p4*x^6 + p5*x^5 + p6*x^4 + p7*x^3 + p8*x^2 + p9*x + p10$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$\begin{aligned} p1 &= 4.519e-18 \quad (2.787e-18, 6.251e-18) \\ p2 &= -7.521e-15 \quad (-1.017e-14, -4.875e-15) \\ p3 &= 5.251e-12 \quad (3.558e-12, 6.944e-12) \\ p4 &= -1.995e-09 \quad (-2.583e-09, -1.406e-09) \\ p5 &= 4.467e-07 \quad (3.257e-07, 5.678e-07) \\ p6 &= -5.969e-05 \quad (-7.467e-05, -4.471e-05) \\ p7 &= 0.004568 \quad (0.003483, 0.005654) \\ p8 &= -0.1784 \quad (-0.2211, -0.1357) \\ p9 &= 2.489 \quad (1.714, 3.265) \\ p10 &= -50.22 \quad (-54.82, -45.62) \end{aligned}$$

I aplicant la fórmula sobre la mitjana de la potència en cada antena tenim:

*Antena 1:*

DAF011: Mitjana RSSI obtinguda: -63dBm | Mitjana RSSI real: -56dBm

DAF001: Mitjana RSSI obtinguda: -59dBm | Mitjana RSSI pronosticada: -52dBm

DAF001: Radi real: 37cm | Radi pronosticat: 30cm

*Antena 2:*

DAF011: Mitjana RSSI obtinguda: -55dBm | Mitjana RSSI real: -54dBm

DAF001: Mitjana RSSI obtinguda: -48dBm | Mitjana RSSI pronosticada: -47dBm

DAF001: Radi real: 35cm | Radi pronosticat: 25cm

*Antena 3:*

DAF011: Mitjana RSSI obtinguda: -62dBm | Mitjana RSSI real: -53dBm

DAF001: Mitjana RSSI obtinguda: -64dBm | Mitjana RSSI pronosticada: -55dBm

DAF001: Radi real: 49cm | Radi pronosticat: 35cm

A partir de les interseccions dels radis de les antenes es crea la següent gràfica on es pot veure que el punt vermell és la posició del *tag* real i els punts taronges la posició estimada del *tag*.

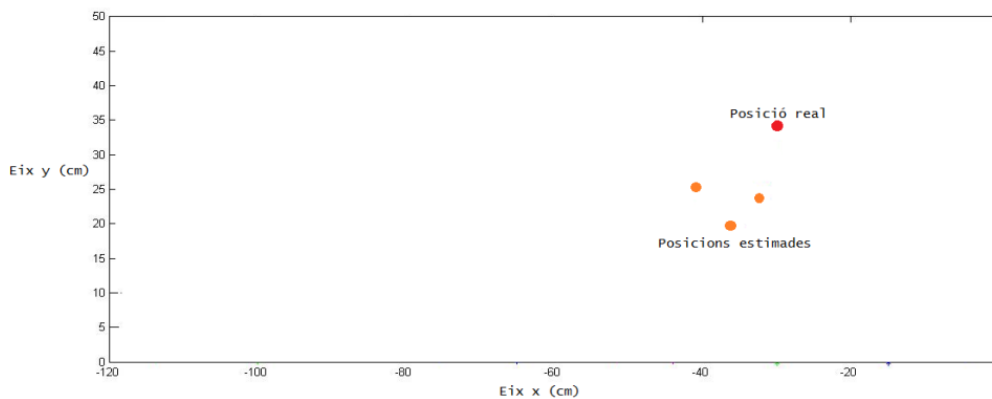


Figura 4.37. Posicions tag's experiment 2

## Conclusions

Com a conclusions podem extreure que amb aquesta variació la posició del *tag* estimada s'aproxima a la real però no és òptima.

## 4.9. TRIANGULACIÓ CIRCULAR – MÈTODE 2 (Fórmula i límits de confiança)

### Objectiu

L'objectiu d'aquest mètode és utilitzar el mètode 2 (amb variació) però aplicant la fórmula utilitzant els límits de confiança. La fórmula que ja hem vist per al *tag* DAF0...0001 és amb els límits de confiança entre parèntesis:

*Linear model Poly9:*

$$f(x) = p1*x^9 + p2*x^8 + p3*x^7 + p4*x^6 + p5*x^5 + p6*x^4 + p7*x^3 + p8*x^2 + p9*x + p10$$

*Coefficients (with 95% confidence bounds):*

p1 = 4.519e-18 (2.787e-18, 6.251e-18)  
p2 = -7.521e-15 (-1.017e-14, -4.875e-15)  
p3 = 5.251e-12 (3.558e-12, 6.944e-12)  
p4 = -1.995e-09 (-2.583e-09, -1.406e-09)  
p5 = 4.467e-07 (3.257e-07, 5.678e-07)  
p6 = -5.969e-05 (-7.467e-05, -4.471e-05)  
p7 = 0.004568 (0.003483, 0.005654)  
p8 = -0.1784 (-0.2211, -0.1357)  
p9 = 2.489 (1.714, 3.265)  
p10 = -50.22 (-54.82, -45.62)

D'aquesta forma en comptes d'obtenir un radi per a cada antena, obtindrem dos radis i per tant una intersecció d'àrees.

### Experiment 1

Agafem els resultats de l'experiment 2 de l'apartat 4.8 anterior i apliquem la fórmula amb els límits de confiança sobre la mitjana de potència de cada antena. Primerament apliquem:

$$f(x) = p1*x^9 + p2*x^8 + p3*x^7 + p4*x^6 + p5*x^5 + p6*x^4 + p7*x^3 + p8*x^2 + p9*x + p10$$

*on*

p1 = 2.787e-18  
p2 = -1.017e-14  
p3 = 3.558e-12  
p4 = -2.583e-09  
p5 = 3.257e-07  
p6 = -7.467e-05  
p7 = 0.003483  
p8 = -0.2211  
p9 = 1.714  
p10 = -54.82

I després:

$$f(x) = p1*x^9 + p2*x^8 + p3*x^7 + p4*x^6 + p5*x^5 + p6*x^4 + p7*x^3 + p8*x^2 + p9*x + p10$$

*on*

p1 = 6.251e-18  
p2 = -4.875e-15  
p3 = 6.944e-12  
p4 = -1.406e-09  
p5 = 5.678e-07  
p6 = -4.471e-05  
p7 = 0.005654  
p8 = -0.1357  
p9 = 3.265  
p10 = -45.62

I finalment obtenim els resultats següents:

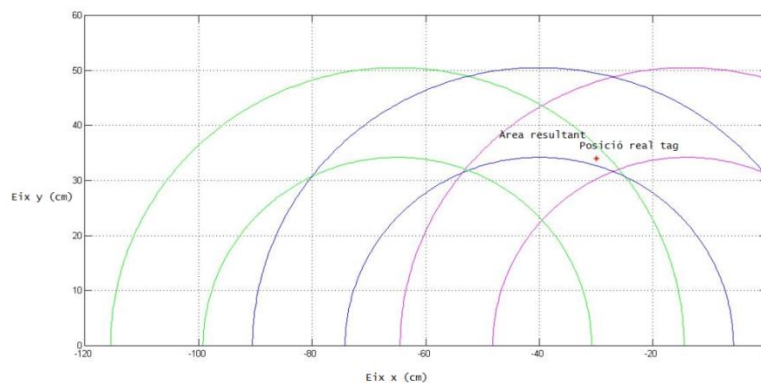


Figura 4.38. Intersecció tres àrees experiment 1

## Experiment 2

Agafem els resultats de l'experiment 2 de l'apartat 4.8 anterior i apliquem la fórmula amb els límits de confiança sobre la mitjana de potència de cada antena. Primerament apliquem:

$$f(x) = p1*x^9 + p2*x^8 + p3*x^7 + p4*x^6 + p5*x^5 + p6*x^4 + p7*x^3 + p8*x^2 + p9*x + p10$$

on

$$\begin{aligned} p1 &= 2.787e-18 \\ p2 &= -1.017e-14 \\ p3 &= 3.558e-12 \\ p4 &= -2.583e-09 \\ p5 &= 3.257e-07 \\ p6 &= -7.467e-05 \\ p7 &= 0.003483 \\ p8 &= -0.2211 \\ p9 &= 1.714 \\ p10 &= -54.82 \end{aligned}$$

I després:

$$f(x) = p1*x^9 + p2*x^8 + p3*x^7 + p4*x^6 + p5*x^5 + p6*x^4 + p7*x^3 + p8*x^2 + p9*x + p10$$

on

$$\begin{aligned} p1 &= 6.251e-18 \\ p2 &= -4.875e-15 \\ p3 &= 6.944e-12 \\ p4 &= -1.406e-09 \\ p5 &= 5.678e-07 \\ p6 &= -4.471e-05 \\ p7 &= 0.005654 \\ p8 &= -0.1357 \\ p9 &= 3.265 \\ p10 &= -45.62 \end{aligned}$$

I finalment obtenim els resultats següents:

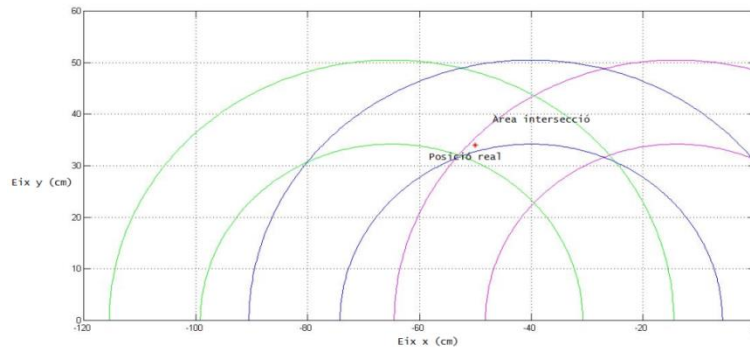


Figura 4.39. Intersecció tres àrees experiment 2

## Conclusions

Com es pot veure l'àrea resultant és molt més reduïda que la dels experiments anteriors i quasi no varia d'un experiment a un altre.

## **4.10. MÈTODE 3**

---

### Objectiu

Aquest mètode es basa en utilitzar la mesura de *Phase* de les proves inicials i ajustar l'eix y de l'escenari. El funcionament és el següent:

- Pas 1. Creem una matriu on cada posició en el eix de les y's té un valor corresponent de fase. Aquests valors els agafem de les proves inicials per al DAF0...0001.
- Pas 2. Agafem les lectures de fase del fitxer csv que hem creat per detectar la localització del *tag* DAF0...0001 per a cada antena i calculem la mitjana de la fase.
- Pas 3. Aquests valors els comparem amb els de la matriu que hem creat. Si existeix aquell valor, seleccionem la posició, sinó agafem el valor més pròxim.

### Experiment 1

El *tag* DAF001 està situat a  $x = 30\text{cm}$ ,  $y = 34\text{ cm}$ .

La matriu creada és (y (cm), valor fase corresponent (graus)) :

(y,valor fase corresponent) = (20,92) (21,92) (22,90) (23,84) (24,75) (25,59) (26,33)  
 (27,149) (28,135) (29,123) (30,112) (31, 93,5) (32,70) (33,45) (34,19) (35, 155,5)  
 (36,129) (37,101) (38,92) (39,90) (40,90)

A partir d'aquí apliquem el mètode:

Antena 1 ens dóna una mitjana de fase de 5 graus (Agafem el valor 19 ja que és el que restat dóna menys - per tant 34cm)

Antena 2 ens dóna una mitjana de fase de 75 graus (Agafem el valor 75 - per tant 24cm)

Antena 3 ens dóna una mitjana de fase de 75 graus (Agafem el valor 75 - per tant 24cm)

y – valor fase corresponent	Posició Tag
36cm – 129graus	
35cm – 155.5graus	
34cm – 19graus	DAF0...0001
33cm – 45graus	
32cm – 70graus	
31cm – 93.5graus	
30cm – 112graus	
29cm – 123graus	
28cm – 135graus	
27cm – 149graus	
26cm – 33graus	
25cm – 59graus	
24cm – 75graus	

Taula 4.3. Posició y vs. Fase

Com podem veure amb aquest mètode podem ajustar l'eix de les y's i ser més precisos.

#### 4.11. TRIANGULACIÓ CIRCULAR – MÈTODE 2 (límits de confiança) + MÈTODE 3

##### Objectiu

La base d'aquest mètode és unir els mètodes vistos en el apartat 4.9 i 4.10. Un cop obtinguda l'àrea mitjançant el mètode 2 amb la fórmula i els límits de confiança, ajustem l'eix de les y's i així acotem molt més l'àrea. Per a demostrar que és el mètode més precís, passem a donar els resultats a diversos experiments realitzats. A l'annex hem creat un manual amb els passos a seguir per a realitzar aquest mètode amb *Matlab*.

##### Experiment 1

El tag DAF0...0001 està situat a  $x = 50\text{cm}$   $y = 34\text{cm}$

El tag DAF0...0011 està situat a  $x = 30\text{cm}$   $y = 34\text{cm}$

El primer pas és calcular la mitjana obtinguda de les lectures obtingudes per cada antena a cada tag. Per tant tenim:

DAF0...0001	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-49 dBm	168 graus
Antena 2	-36 dBm	82.5 graus
Antena 3	-41 dBm	84 graus

Taula 4.4. DAF00001- Mitjana potència i fase

DAF0...0011	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-43 dBm	129 graus
Antena 2	-33 dBm	14 graus
Antena 3	-51 dBm	90 graus

Taula 4.5. DAF00011- Mitjana potència i fase

Un cop tenim aquests valors anem a ajustar els valors amb el tag de referència:

DAF0...0011	Mitjana RSSI
Antena 1	-53 dBm
Antena 2	-54 dBm
Antena 3	-57 dBm

Taula 4.6. DAF00011- Mitjana potència real

Ara passem a fer la resta dels resultats reals amb el obtinguts per a DAF0...0011 i els resultats ho apliquem a DAF0...0001.

DAF0...0001	Mitjana RSSI
Antena 1	-59 dBm
Antena 2	-47 dBm
Antena 3	-47 dBm

Taula 4.7. DAF00001- Mitjana potència ajustada

Seguidament aquests valors de mitjana RSSI per a DAF0...0001 apliquem la fórmula corresponent per a DAF0...0001 amb els límits de confiança.

DAF0...0001	Radi 1	Radi 2
Antena 1	34 cm	50.5cm
Antena 2	34 cm	50.5cm
Antena 3	34 cm	50.5cm

Taula 4.8. DAF00001- Radis

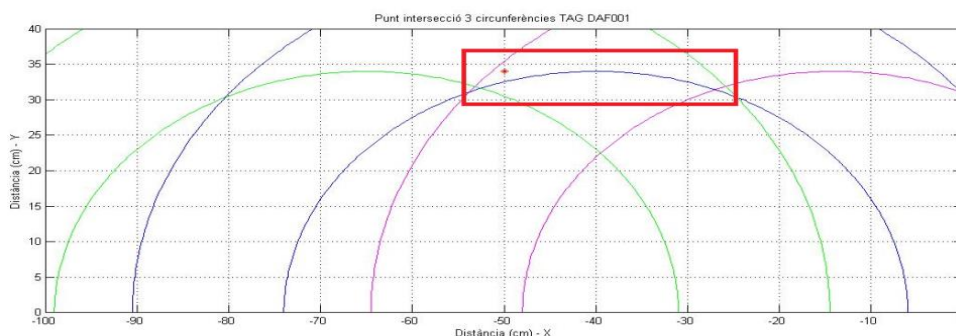


Figura 4.40. Resultat àrea experiment 1

Com podem veure, a la figura anterior veiem la intersecció de les tres àrees amb el tag situat al seu interior. L'àrea resultant aproximada és la següent. De 26cm a 53cm per les x's i 32cm a 37cm per les y's (ja que el límit de l'escenari és de 37cm).

Per acabar anem a ajustar l'eix de les y's mitjançant el mètode 3. Tenim la següent matriu (y (cm), fase (graus)).

(20,92) (21,92) (22,90) (23,84) (24,75) (25,59) (26,33) (27,149) (28,135) (29,123)  
 (30,112) (31,93,5) (32,70) (33,45) (34,19) (35,155,5) (36,129) (37,101)

Llavors agafem valors:

Per una fase de 168 agafem la posició 35cm. Per una fase de 82.5 agafem la posició 23cm i per 84 també agafem 23cm. Llavors ens queda 23cm fins a 35cm.

Fem la resta d'àrees sobre la qual ja teníem i ens queda una àrea total de 26cm a 53cm per les x's i de 32cm fins a 35cm per les y's.

## Experiment 2

El tag DAF0...0001 està situat a  $x = 50\text{cm}$   $y = 34\text{cm}$

El tag DAF0...0011 està situat a  $x = 40\text{cm}$   $y = 34\text{cm}$

El primer pas és calcular la mitjana obtinguda de les lectures obtingudes per cada antena a cada tag. Per tant tenim:

DAF0...0001	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-49 dBm	75 graus
Antena 2	-45 dBm	64 graus
Antena 3	-43 dBm	84 graus

Taula 4.9. DAF00001- Mitjana potència i fase

DAF0...0011	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-45 dBm	39 graus
Antena 2	-37 dBm	150 graus
Antena 3	-50 dBm	84 graus

Taula 4.10. DAF00011- Mitjana potència i fase

Un cop tenim aquests valors anem a ajustar els valors amb el tag de referència:

DAF0...0011	Mitjana RSSI
Antena 1	-53 dBm
Antena 2	-56 dBm
Antena 3	-60 dBm

Taula 4.11. DAF00011- Mitjana potència real

Ara passem a fer la resta dels resultats reals amb els obtinguts per a DAF0...0011 i els resultats ho apliquem a DAF0...0001.

DAF0...0001	Mitjana RSSI
Antena 1	-57 dBm
Antena 2	-54 dBm
Antena 3	-53 dBm

Taula 4.12. DAF00001- Mitjana potència ajustada

Seguidament aquests valors de mitjana RSSI per a DAF0...0001 apliquem la fórmula corresponent per a DAF0...0001 amb els límits de confiança.

DAF0...0001	Radi 1	Radi 2
Antena 1	34 cm	50.5cm
Antena 2	34 cm	50.5cm
Antena 3	34 cm	50.5cm

Taula 4.13. DAF00001- Radis

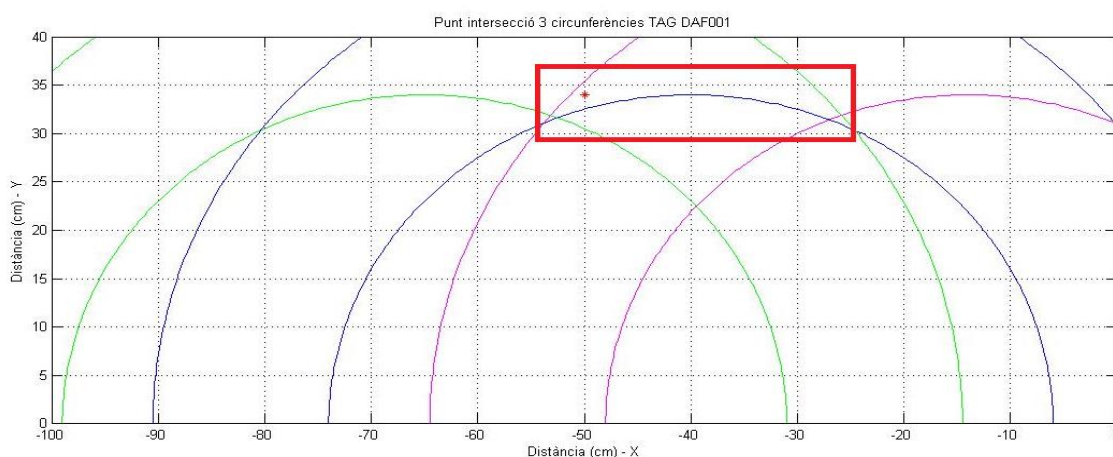


Figura 4.41. Resultat àrea experiment 2

Com podem veure a la figura anterior veiem la intersecció de les tres àrees amb el tag situat al seu interior. L'àrea resultant aproximada és la següent. De 26cm a 53cm per les x's i 32cm a 37cm per les y's (ja que el límit de l'escenari és de 37cm).

Per acabar anem a ajustar l'eix de les y's mitjançant el mètode 3. Tenim la següent matriu (y (cm), fase (graus)).

(20,92) (21,92) (22,90) (23,84) (24,75) (25,59) (26,33) (27,149) (28,135) (29,123)  
 (30,112) (31,93,5) (32,70) (33,45) (34,19) (35,155,5) (36,129) (37,101)

Llavors agafem valors:

Per una fase de 75 agafem la posició 24cm. Per una fase de 64 agafem la posició 25cm i per 84 agafem 23cm. Llavors ens queda 23cm fins a 25cm. En aquest cas no podem ajustar l'eix de les y's ja que el tag de referència no es troba dins, per tant ens queda una àrea de 26cm a 53cm per les x's i de 32cm fins a 37cm per les y's.

### Experiment 3

El tag DAF0...0001 està situat a x = 40cm y = 34cm

El tag DAF0...0011 està situat a x = 50cm y = 34cm

El primer pas és calcular la mitjana obtinguda de les lectures obtingudes per cada antena a cada tag. Per tant tenim:

DAF0...0001	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-49 dBm	42 graus
Antena 2	-36 dBm	157 graus
Antena 3	-48 dBm	84 graus

Taula 4.14. DAF00001- Mitjana potència i fase

DAF0...0011	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-51 dBm	24 graus
Antena 2	-45 dBm	42 graus
Antena 3	-49dBm	81 graus

Taula 4.15. DAF00011- Mitjana potència i fase

Un cop tenim aquests valors anem a ajustar els valors amb el tag de referència:

DAF0...0011	Mitjana RSSI
Antena 1	-56 dBm
Antena 2	-54 dBm
Antena 3	-57 dBm

Taula 4.16. DAF00011- Mitjana potència real

Ara passem a fer la resta dels resultats reals amb el obtinguts per a DAF0...0011 i els resultats ho apliquem a DAF0...0001.

DAF0...0001	Mitjana RSSI
Antena 1	-54 dBm
Antena 2	-45 dBm
Antena 3	-56 dBm

Taula 4.17. DAF00001- Mitjana potència ajustada

Seguidament aquests valors de mitjana RSSI per a DAF0...0001 apliquem la fórmula corresponent per a DAF0...0001 amb els límits de confiança.

DAF0...0001	Radi 1	Radi 2
Antena 1	34 cm	50.5cm
Antena 2	34 cm	50.5cm
Antena 3	34 cm	50.5cm

Taula 4.18. DAF00001- Radis

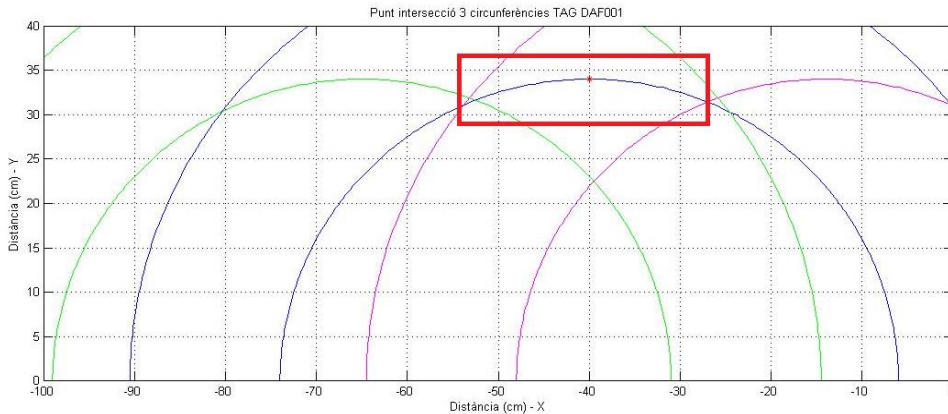


Figura 4.42. Resultat àrea experiment 3

Com podem veure a la figura anterior veiem la intersecció de les tres àrees amb el tag situat al seu interior. L'àrea resultant aproximada és la següent. De 26cm a 53cm per les x's i 32cm a 37cm per les y's (ja que el límit de l'escenari és de 37cm).

Per acabar anem a ajustar l'eix de les y's mitjançant el mètode 3. Tenim la següent matriu (y (cm), fase (graus)).

(20,92) (21,92) (22,90) (23,84) (24,75) (25,59) (26,33) (27,149) (28,135) (29,123)  
 (30,112) (31,93,5) (32,70) (33,45) (34,19) (35,155,5) (36,129) (37,101)

Llavors agafem valors:

Per una fase de 42 agafem la posició 33cm. Per una fase de 157 agafem la posició 35cm i per 84 agafem 23cm. Llavors ens queda 23cm fins a 35cm.

Fem la resta d'àrees sobre la qual ja teníem i ens queda una àrea total de 26cm a 53cm per les x's i de 32cm fins a 35cm per les y's.

#### Experiment 4

El tag DAF0...0001 està situat a x = 40cm y = 34cm

El tag DAF0...0011 està situat a x = 30cm y = 34cm

El primer pas és calcular la mitjana obtinguda de les lectures obtingudes per cada antena a cada tag. Per tant tenim:

DAF0...0001	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-37 dBm	17.5 graus
Antena 2	-36 dBm	151 graus
Antena 3	-57 dBm	95 graus

Taula 4.19. DAF00001- Mitjana potència i fase

DAF0...0011	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-40 dBm	16 graus

Antena 2	-37 dBm	64 graus
Antena 3	-56 dBm	98 graus

Taula 4.20. DAF00011- Mitjana potència i fase

Un cop tenim aquests valors anem a ajustar els valors amb el tag de referència:

DAF0...0011	Mitjana RSSI
Antena 1	-53 dBm
Antena 2	-54 dBm
Antena 3	-57 dBm

Taula 4.21. DAF00011- Mitjana potència real

Ara passem a fer la resta dels resultats reals amb el obtinguts per a DAF0...0011 i els resultats ho apliquem a DAF0...0001.

DAF0...0001	Mitjana RSSI
Antena 1	-50 dBm
Antena 2	-43 dBm
Antena 3	-58 dBm

Taula 4.22. DAF00001- Mitjana potència ajustada

Seguidament aquests valors de mitjana RSSI per a DAF0...0001 apliquem la fórmula corresponent per a DAF0...0001 amb els límits de confiança.

DAF0...0001	Radi 1	Radi 2
Antena 1	34 cm	50.5cm
Antena 2	34 cm	50.5cm
Antena 3	34 cm	50.5cm

Taula 4.23. DAF00001- Radis

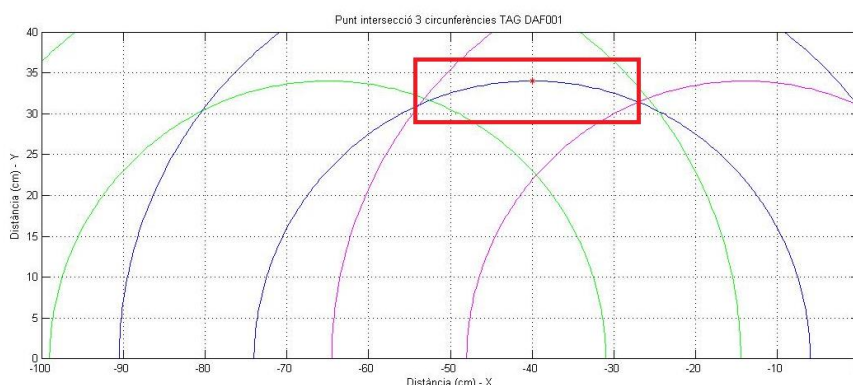


Figura 4.43. Resultat àrea experiment 4

Com podem veure a la figura anterior, veiem la intersecció de les tres àrees amb el tag situat al seu interior. L'àrea resultant aproximada és la següent: de 26cm a 53cm per les x's i 32cm a 37cm per les y's (ja que el límit de l'escenari és de 37cm).

Per acabar anem a ajustar l'eix de les y's mitjançant el mètode 3. Tenim la següent matriu (y (cm), fase (graus)).

(20,92) (21,92) (22,90) (23,84) (24,75) (25,59) (26,33) (27,149) (28,135) (29,123)  
 (30,112) (31,93,5) (32,70) (33,45) (34,19) (35,155,5) (36,129) (37,101)

Llavors agafem valors:

Per una fase de 17.5 agafem la posició 34cm. Per una fase de 151 agafem la posició 27cm i per 95 també agafem 31cm. Llavors ens queda 27cm fins a 34cm.

Fem la resta d'àrees sobre la qual ja teníem i ens queda una àrea total de 26cm a 53cm per les x's i de 32cm fins a 34cm per les y's.

En aquests últims dos experiments tenim una variació i és que enlloc de que els tag's estiguin paral·lels a la prestatgeria, estan paral·lels a l'antena.

### Experiment 5

En aquest experiment els tag's es troben drets, és a dir, paral·lels a l'antena.

El tag DAF0...0001 està situat a  $x = 40\text{cm}$   $y = 34\text{cm}$

El tag DAF0...0011 està situat a  $x = 30\text{cm}$   $y = 34\text{cm}$

El primer pas és calcular la mitjana obtinguda de les lectures obtingudes per cada antena a cada tag. Per tant tenim:

DAF0...0001	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-53 dBm	14 graus
Antena 2	-49 dBm	19 graus
Antena 3	-63 dBm	90 graus

Taula 4.24. DAF00001- Mitjana potència i fase

DAF0...0011	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-59 dBm	67graus
Antena 2	-49 dBm	163 graus
Antena 3	-62 dBm	90 graus

Taula 4.25. DAF00011- Mitjana potència i fase

Un cop tenim aquests valors anem a ajustar els valors amb el tag de referència:

DAF0...0011	Mitjana RSSI
Antena 1	-53 dBm
Antena 2	-54 dBm
Antena 3	-57 dBm

Taula 4.26. DAF00011- Mitjana potència real

Ara passem a fer la resta dels resultats reals amb el obtinguts per a DAF0...0011 i els resultats ho apliquem a DAF0...0001.

DAF0...0001	Mitjana RSSI
Antena 1	-47 dBm
Antena 2	-54 dBm
Antena 3	-68 dBm

Taula 4.27. DAF00001- Mitjana potència ajustada

Seguidament aquests valors de mitjana RSSI per a DAF0...0001 apliquem la fórmula corresponent per a DAF0...0001 amb els límits de confiança.

DAF0...0001	Radi 1	Radi 2
Antena 1	34 cm	50.5cm
Antena 2	34 cm	50.5cm
Antena 3	34 cm	50.5cm

Taula 4.28. DAF00001- Radis

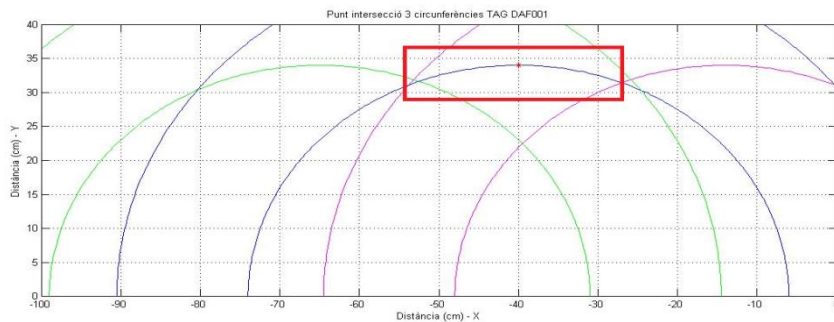


Figura 4.44. Resultat àrea experiment 5

Com podem veure a la figura anterior veiem la intersecció de les tres àrees amb el tag situat al seu interior. L'àrea resultant aproximada és la següent. De 26cm a 53cm per les x's i 32cm a 37cm per les y's (ja que el límit de l'escenari és de 37cm).

Per acabar anem a ajustar l'eix de les y's mitjançant el mètode 3. Tenim la següent matriu (y (cm), fase (graus)).

(20,92) (21,92) (22,90) (23,84) (24,75) (25,59) (26,33) (27,149) (28,135) (29,123)  
 (30,112) (31,93,5) (32,70) (33,45) (34,19) (35,155,5) (36,129) (37,101)

Llavors agafem valors:

Per una fase de 14 agafem la posició 34cm. Per una fase de 19 agafem la posició 34cm i per 90 agafem 22cm. Llavors ens queda 22cm fins a 34cm.

Fem la resta d'àrees sobre la qual ja teníem i ens queda una àrea total de 26cm a 53cm per les x's i de 32cm fins a 34cm per les y's.

## Experiment 6

En aquest experiment els *tag*'s es troben drets, és a dir, paral·lels a l'antena.

El *tag* DAF0...0001 està situat a  $x = 50\text{cm}$   $y = 34\text{cm}$

El *tag* DAF0...0011 està situat a  $x = 30\text{cm}$   $y = 34\text{cm}$

El primer pas és calcular la mitjana obtinguda de les lectures obtingudes per cada antena a cada *tag*. Per tant tenim:

DAF0...0001	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-68 dBm	119 graus
Antena 2	-52 dBm	41 graus
Antena 3	-65 dBm	84 graus

Taula 4.29. DAF00001- Mitjana potència i fase

DAF0...0011	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-60 dBm	114 graus
Antena 2	-49 dBm	160 graus
Antena 3	-62 dBm	90 graus

Taula 4.30. DAF00011- Mitjana potència i fase

Un cop tenim aquests valors anem a ajustar els valors amb el *tag* de referència:

DAF0...0011	Mitjana RSSI
Antena 1	-53 dBm
Antena 2	-54 dBm
Antena 3	-57 dBm

Taula 4.31. DAF00011- Mitjana potència real

Ara passem a fer la resta dels resultats reals amb el obtinguts per a DAF0...0011 i els resultats ho apliquem a DAF0...0001.

DAF0...0001	Mitjana RSSI
Antena 1	-61 dBm
Antena 2	-57 dBm
Antena 3	-60 dBm

Taula 4.32. DAF00001- Mitjana potència ajustada

Seguidament aquests valors de mitjana RSSI per a DAF0...0001 apliquem la fórmula corresponent per a DAF0...0001 amb els límits de confiança.

DAF0...0001	Radi 1	Radi 2
Antena 1	34 cm	50.5cm
Antena 2	34 cm	50.5cm
Antena 3	34 cm	50.5cm

Taula 4.33. DAF00001- Radis

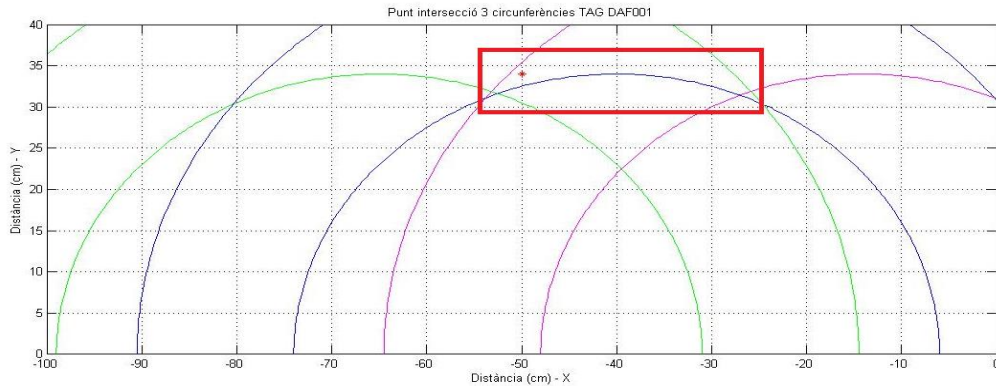


Figura 4.45. Resultat àrea experiment 6

Com podem veure a la figura anterior veiem la intersecció de les tres àrees amb el tag situat al seu interior. L'àrea resultant aproximada és la següent. De 26cm a 53cm per les x's i 32cm a 37cm per les y's (ja que el límit de l'escenari és de 37cm).

Per acabar anem a ajustar l'eix de les y's mitjançant el mètode 3. Tenim la següent matriu (y (cm), fase (graus)).

(20,92) (21,92) (22,90) (23,84) (24,75) (25,59) (26,33) (27,149) (28,135) (29,123)  
 (30,112) (31,93,5) (32,70) (33,45) (34,19) (35,155,5) (36,129) (37,101)

Llavors agafem valors:

Per una fase de 41 agafem la posició 33cm. Per una fase de 119 agafem la posició 29cm i per 84 agafem 23cm. Llavors ens queda 23cm fins a 33cm.

En aquest cas no varia res l'ajust i per tant ho descartem ja que els valors que ens dona no es troba dins el tag de referència. Per tant, ens queda una àrea total de 26cm a 53cm per les x's i de 32cm fins a 37cm per les y's.

### Experiment 7

En aquest experiment els tag's es troben drets, és a dir, paral·lels a l'antena.

El tag DAF0...0001 està situat a x = 30cm y = 34cm

El tag DAF0...0011 està situat a x = 50cm y = 34cm

El primer pas és calcular la mitjana obtinguda de les lectures obtingudes per cada antena a cada tag. Per tant tenim:

DAF0...0001	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-59 dBm	77 graus
Antena 2	-48 dBm	163 graus
Antena 3	-64 dBm	89 graus

Taula 4.34. DAF00001- Mitjana potència i fase

DAF0...0011	Mitjana RSSI	Mitjana Phase
Antena 1	-63 dBm	165 graus
Antena 2	-55 dBm	58 graus
Antena 3	-62 dBm	81 graus

Taula 4.35. DAF00011- Mitjana potència i fase

Un cop tenim aquests valors anem a ajustar els valors amb el tag de referència:

DAF0...0011	Mitjana RSSI
Antena 1	-56 dBm
Antena 2	-54 dBm
Antena 3	-57 dBm

Taula 4.36. DAF00011- Mitjana potència real

Ara passem a fer la resta dels resultats reals amb el obtinguts per a DAF0...0011 i els resultats ho apliquem a DAF0...0001.

DAF0...0001	Mitjana RSSI
Antena 1	-52 dBm
Antena 2	-47 dBm
Antena 3	-59 dBm

Taula 4.37. DAF00001- Mitjana potència ajustada

Seguidament aquests valors de mitjana RSSI per a DAF0...0001 apliquem la fórmula corresponent per a DAF0...0001 amb els límits de confiança.

DAF0...0001	Radi 1	Radi 2
Antena 1	34 cm	50.5cm
Antena 2	34 cm	50.5cm
Antena 3	34 cm	50.5cm

Taula 4.38. DAF00001- Radis

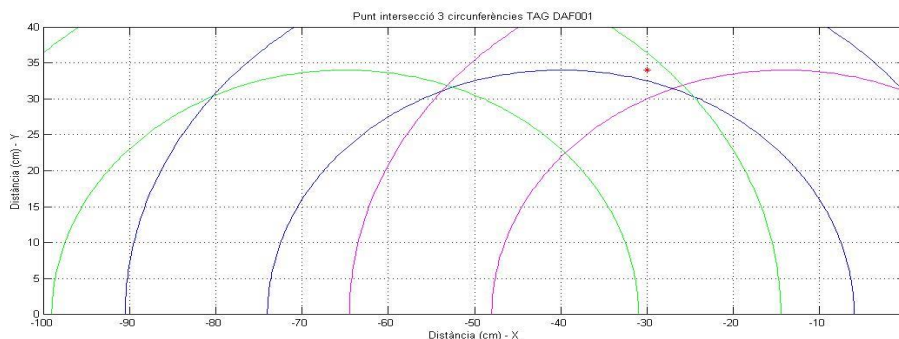


Figura 4.46. Resultat àrea experiment 7

Com podem veure a la figura anterior veiem la intersecció de les tres àrees amb el *tag* situat al seu interior. L'àrea resultant aproximada és la següent. De 26cm a 53cm per les x's i 32cm a 37cm per les y's (ja que el límit de l'escenari és de 37cm).

Per acabar anem a ajustar l'eix de les y's mitjançant el mètode 3. Tenim la següent matriu (y (cm), fase (graus)).

(20,92) (21,92) (22,90) (23,84) (24,75) (25,59) (26,33) (27,149) (28,135) (29,123)  
 (30,112) (31,93,5) (32,70) (33,45) (34,19) (35,155,5) (36,129) (37,101)

Llavors agafem valors:

Per una fase de 77 agafem la posició 24cm. Per una fase de 163 agafem la posició 35cm i per 89 agafem 22cm. Llavors ens queda 22cm fins a 35cm.

Fem la resta d'àrees sobre la qual ja teníem i ens queda una àrea total de 26cm a 53cm per les x's i de 32cm fins a 35cm per les y's.

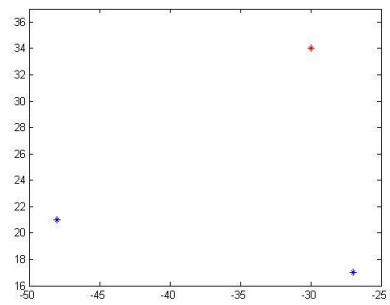
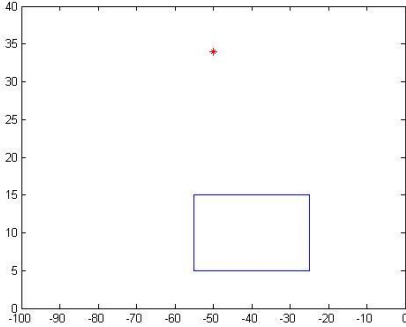
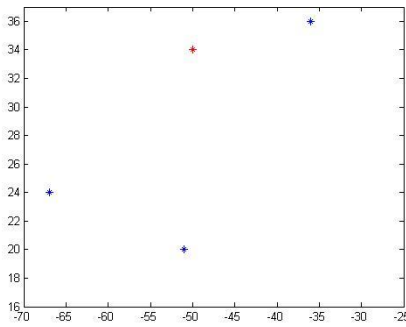
#### 4.12. COMPARACIONS ENTRE ELS DIFERENTS MÈTODES

A continuació passem a comparar per a veure quin és el mètode que ens dóna els resultats més òptims. Per a veure-ho mostrem dues taules:

<u>Mètode emprat</u>	<u>Posició Tag Real</u>	<u>Estimació posició Tag</u>
Mètode 2 - Sense referència - RSSI	x = 30cm   y = 34cm	Dues interseccions: x = 25cm   y = 17cm x = 48cm   y = 21cm
Mètode 1 - Sense referència - RSSI	x = 50cm   y = 34cm	Àrea aproximada cobertura (mals resultats): x1 = 25   x2 = 55 y1 = 5   y2 = 15
Mètode 2 (variant) - Amb referència - RSSI	x = 50cm   y = 34cm	Tres interseccions: x = 36cm   y = 36cm x = 67cm   y = 24cm x = 51cm   y = 20cm
Mètode 1 (variant) - Amb referència - RSSI	x = 50cm   y = 34cm	Àrea aproximada cobertura: x1 = 10cm   x2 = 80cm y1 = 27cm   y2 = 37cm
Mètode 2 (límits confiança) - Amb referència - RSSI	x = 30cm   y = 34cm	Àrea poc variable: x1 = 24cm   x2 = 53cm y1 = 32cm   y2 = 37cm

<b>Mètode 3</b> - Sense referència - Phase	x = 40cm   y = 34cm	y1 = 34cm   y2 = 37cm
<b>Mètode 2 (límits confiança) + Mètode 3</b> - Amb referència - RSSI i Phase	x = 30cm   y = 34cm	x1 = 24cm   x2 = 53cm y1 = 32cm   y2 = 36cm

Taula 4.39. Comparacions diferents mètode (part 1)

<u>Mètode emprat</u>	<u>Esquema gràfic</u> (Eix x = distància (cm)   Eix y = distància (cm)) (Vermell = posició tag real   Blau = posició tag aprox. / àrea aprox.)	
<b>Mètode 2</b> - Sense referència - RSSI		
<b>Mètode 1</b> - Sense referència - RSSI		
<b>Mètode 2 (variant)</b> - Amb referència - RSSI		



Taula 4.40. Comparacions diferents mètode (part 2)

#### 4.13. ELECCIÓ DEL MÈTODE

Com ja hem anticipat a l'apartat 5.11 el mètode que millors resultats ens ha donat ha sigut el que combina el mètode 2 mitjançant la fórmula utilitzant els límits de confiança

i ajustant l'eix de les y's amb el mètode 3. Això ho podem contrastar amb els experiments realitzats.

## CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS

---

Un total de set experiments han contrastat que el mètode 2, aplicant la fórmula amb els límits de confiança i ajustant l'eix de les y's amb el mètode 3, és el que millors resultats ens ha donat. Aquests experiments ens han ajudat a ajustar l'àrea a 30cm x i 10cm y, però no podem generalitzar ja que faltarien molts més experiments per a garantir que això és així. No obstant, els resultats obtinguts són els esperats i hem aconseguit arribar al nostre objectiu trobant un mètode que troba una àrea precisa que sap on està el *tag* mitjançant aquests set experiments.

Per altra banda, ens hagués agradat minimitzar tots els factors que intervenen en la presa de mesures i lectures de les dades i així poder encara millorar més la precisió en els mètodes. Creiem que és un factor a millorar per als pròxims experiments.

Finalment, els resultats obtinguts en els experiments sobre la fase ens mostren que és més precisa que les mesures de la potència, per tant també seria un factor a considerar sobre pròxims treballs.

## CAPÍTOL 6. PART COMUNA

---

### Introducció

A continuació anem a presentar els diferents treballs que han realitzat els altres companys del grup i la relació que tenen amb el nostre treball. Farem un breu resum del treball en qüestió i la relació que hi ha amb el nostre, és a dir, el que podem aportar nosaltres als seus treballs i el que ens poden aportar ells a nosaltres.

### Alejo Riera

L'objectiu d'aquest treball és calibrar els lectors RFID per tal d'obtenir uns resultats més precisos de les seves múltiples aplicacions. Per arribar a aquest objectiu s'ha creat una eina que realitza, de forma automàtica, proves de calibratge i configuració amb la possibilitat de configurar múltiples paràmetres d'entrada. El que s'ha aconseguit és millorar els paràmetres de potència i temps de resposta per un escenari ideal, millorant també la qualitat de les mesures obtingudes. Això ens dona un benefici ja que en el nostre projecte fem les mesures de la potència. Si amb aquesta eina obtenim mesures molt més precises i amb més qualitat de lectura, aplicant el nostre mètode podem acurar molt més els resultats i ser més precisos amb la localització d'etiquetes. Nosaltres el que li donem a aquest treball és una necessitat, és a dir, que gràcies a que volem localitzar d'una forma més precisa el seu treball té sentit.

### Darío Lozano

Aquest treball es compon d'una aplicació i un sistema de guia per ajudar a la localització d'objectes en una prestatgeria utilitzant la tecnologia RFID. El sistema consisteix en subdividir una prestatgeria per zones, on cada zona està equipada amb un sensor LED i un sensor auditiu (brunzit). Mitjançant l'aplicació es selecciona la zona en qüestió i aquesta s'identifica amb la il·luminació LED i un brunzit, així podem localitzar l'objecte que es troba en qüestió en aquella zona. Nosaltres, aplicant el mètode de localització més precís, podem millorar aquesta divisió de zones, subdividint cada zona i obtenint-ne més, i per tant tenir més objectes en cada subzona. El que ens dona a nosaltres aquest treball és una aplicació del nostre mètode i genera una necessitat.

### Carles Xavier Vilas

Aquest treball es basa amb la identificació d'objectes en una prestatgeria intel·ligent mitjançant la interacció persona-prestatgeria emprant la tecnologia RFID. La persona interactua amb la prestatgeria i aquesta assisteix auditivament per tal que la persona localitzi el objecte. Relacionat amb el treball d'en Darío, nosaltres també podem ajudar amb aquesta identificació d'objectes, millorant la posició en la qual es troba cada objecte i així poder ampliar els objectes dins la prestatgeria. I també com al treball d'en Darío es crea una necessitat i el nostre treball agafa sentit gràcies al seu.

## Diego Garcia Navarro

La meta d'aquest treball és utilitzar la tecnologia RFID per tal de detectar les possibles interaccions en temps real de l'usuari amb els objectes d'una prestatgeria intel·ligent. Per arribar a aquesta meta s'ha creat un sistema de classificació emprant *Machine Learning* que utilitza diversos paràmetres RFID i *Arduino* per a veure la presència/absència d'objectes a la prestatgeria. D'aquesta forma un usuari pot recollir un objecte de la prestatgeria i el sistema s'assabentarà de quin és l'objecte que s'ha agafat o si el lloc en qüestió està lliure. Nosaltres, com als treballs d'en Carles Xavier o en Darío, podem donar mesures més precises dels paràmetres RFID i així ajudar en la localització d'objectes. Gràcies a aquest treball obtenim una aplicació sobre el nostre.

## Relació entre els diferents treballs

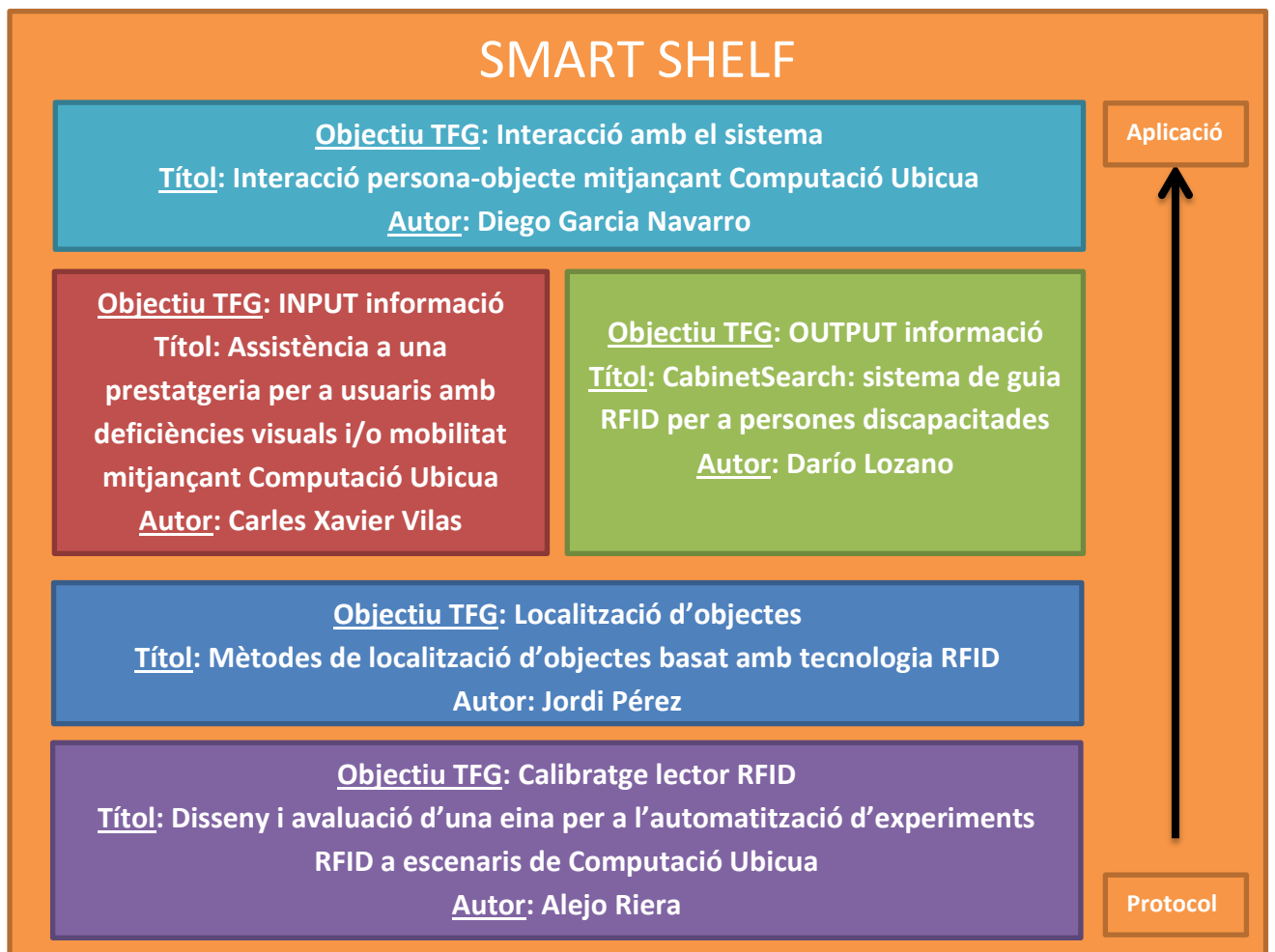


Figura 6.1. Esquema smart shelf

## CAPÍTOL 7. TREBALL FUTUR

---

Diversos factors han pogut afectar als experiments realitzats i que per manca de temps no hem pogut estudiar, com ara rebots de les senyals, interferències en el medi o bé el funcionament del hardware, com per exemple que l'antena llegeix millor els *tag's* quan es troben més lluny. Tots aquests factors haurien de ser estudiats i minimitzats i d'aquesta forma creiem que millorarien els resultats de les proves i dels experiments.

Com hem pogut veure a les conclusions, la unió entre la potència i la fase és el que més bons resultats ens ha donat ja que és on hem obtingut el mètode més precís. La idea és seguir en aquest camí, combinant les mesures de *RSSI* i *Phase* per a poder ajustar la localització del *tag*.

## BIBLIOGRAFIA

---

1. *Ubiquitous Computing Applications Laboratory (UbiCA Lab)* [on-line]. Barcelona: 2014. [Consulta 7 juny 2014]. Disponible a: <http://ubicalab.upf.edu/>
2. *Universitat Pompeu Fabra* [on-line]. Barcelona: 2013. [Consulta 8 desembre 2013]. Disponible a: <http://www.upf.edu/>
3. *Organización Mundial de la Salud* [on-line]. [Consulta 7 desembre 2013]. Disponible a <http://www.who.int/>
4. *Centre national de référence RFID* [on-line]. [Consulta 7 juny 2014]. Disponible a: <http://www.centrenational-rfid.com/rfid-frequency-ranges-article-16-gb-ruid-202.html>
5. Junru Zhou, Hongjian Zhang, Lingfei Mo, “*Two-dimension Localization of Passive RFID Tags Using AOA Estimation*”, Instrumentation and Measurement Technology Conference IEEE I2MTC, July 2011.
6. Núñez Álvarez, Christian; Crespo Cintas, Cristian, “*Accuracy evaluation of probabilistic location methods in UWB-RFID Systems*”, presentation June 2010.
7. Wenbo Shi, Vincent W. S. Wong, “*MDS-Based Localization Algorithm for RFID Systems*”, ICC 2011.
8. J. Shen, A. F. Molisch, and J. Salmi, “*Accurate passive location estimation using TOA measurements*” IEEE Transactions on Wireless Communications, 2012.
9. Zhuo Zou, Ti Deng, Qin Zou, M. D. Sarmiento, Fredrik Jonsson, Li-Rong Zheng, “*Energy Detection Receiver with TOA Estimation Enabling Positioning in Passive UWB-RFID System*”, IEEE International Conference on Ultra-Wideband - ICU , 2010.
10. Metzger, C., Ilic, A., Bourquin, P., Michahelles, F., & Fleisch, “*Distance-sensitive high frequency RFID systems*”, Pervasive Computing and Applications, 2008. ICPCA 2008.
11. Pous R, Melià-Seguí J, Carreras A, Morenza-Cinos M, Rashid Z. 2013. *Cricking: customer-product interaction in retail using pervasive technologies*. Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication.
12. Melià-Seguí J, Pous R, Carreras A, Morenza-Cinos M, Parada R, Liaghat Z, De Porrata-Doria R. 2013. *Enhancing the shopping experience through RFID in an actual retail store*. Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication.
13. Carreras A, Morenza-Cinos M, Pous R, Melià-Seguí J, Nur K, Oliver J, De Porrata-Doria R. 2013. *STORE VIEW: pervasive RFID & indoor navigation based retail inventory management*. Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication.
14. Cortés Suárez, David. Caracterización de los límites de funcionamiento de una estantería inteligente basada en RFID. Treball de final de grau UPF – 2013.

15. AdvanReader-100 Data sheet. <http://keonn.com/rfid-components/readers/advanreader-100.html> (Última actualització 07/06/2014)
16. Advantenna-p11 Data sheet. [http://keonn.com/images/stories/pdf/Keonn-Advantenna-p11-Data\\_sheet.pdf](http://keonn.com/images/stories/pdf/Keonn-Advantenna-p11-Data_sheet.pdf) (Última actualització 07/06/2014)

## ANNEX

### VOCABULARI

RFID: *Radio Frequency Identification* (Identificació per radiofreqüència).

Tag: etiqueta *RFID*

Matlab: llenguatge de càlcul tècnic

RSSI: *Received Signal Strength Indicator* (Potència rebuda).

PHASE: fase

Smart Shelf: Prestatgeria intel·ligent sobre la qual treballem

Reader - AdvanReader: lector hardware de radiofreqüències

Antenna P11: antena *RFID*

ReadTime: temps de lectura

Cycles: número de mostres en concret

Xml: *eXtensible Markup Language* metallenguatge d'etiquetes

Connectors.xml: fitxer de configuració del lector, permet configurar camps tipus ReadTime, Cycles...

Csv: tipus de fitxer que te un format de taula per representar les seves dades

DBm: (*Decibel-milliwatts*)unitat de mesura de la potència

MHz: (megahertz) és la unitat de mesura de la freqüència

Curve fitting: mètode que consisteix en ajustar una corba a una gràfica que conté diversos punts.

DAF0 0000 0000 0000 0000 0001 (Abreviacions): DAF00001, DAF0...0001

DAF0 0000 0000 0000 0000 0011 (Abreviacions): DAF00011, DAF0...0011

### FORMAT DE LES DADES

Les dades tenen una estructura on cada dada és separada de la resta per una coma. A continuació mostrem el format d'un fitxer *csv* i encerclades en vermell els camps que ens interessin pel projecte.

1	HEX_FPC	DECODED_...	READ_CYCLE	DEVICE_ID	DEVICE_IP	ANTENNA	MUX_PORT	MUX_PORT2	TIME_STA...	RSSI	RF_PHASE	RF_DOPPLER	READ_COU...	
2	DAF000000000000000000000001	1	adtr@1	192.168.1.224	1	2	0	0	2014/02/17...	-47	3	64	4	1
3	DAF000000000000000000000001	1	adtr@1	192.168.1.224	1	0	0	0	2014/02/17...	-50,25	78,75	0,0	1	
4	DAF000000000000000000000001	1	adtr@1	192.168.1.224	1	0	0	0	2014/02/17 ...	-49	75		1	
5	DAF000000000000000000000001	1	adtr@1	192.168.1.224	1	0	0	0	2014/02/17 ...	-54	70		1	
6	DAF000000000000000000000001	1	adtr@1	192.168.1.224	1	0	0	0	2014/02/17 ...	-49	78		1	
7	DAF000000000000000000000001	1	adtr@1	192.168.1.224	1	0	0	0	2014/02/17 ...	-53	118		1	



end

El que fa aquesta instrucció es guardar a les variables M1RSSI11, M2RSSI11, M3RSSI11, M1FASE11, M2FASE11 i M3FASE11 els valors corresponents de fase i potència per cada antena pel tag DAF0...0011. Després repetim l'operació pel tag DAF0...0001.

Seguidament traiem els valors 0 del vector creat amb la instrucció següent. (Repetim i ho adaptem per a cada variable)

```
for i=1:1:150
if M1RSSI11(i) == 0
M1RSSI11(i) = [];
end
end
```

Pas 3. Calcular la distància entre el centre de cada antena amb el tag DAF0...0011.

Pas 4. Un cop obtinguts els tres valors del pas tres mirem a quin valor de potència corresponen gràcies als resultats de les proves inicials.

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
1	-56	-56	-56	-55	-54	-53	-53	-53	-56.2500	
2	potència	distància								
3										

Pas 5. Amb els valors de potència del pas quatre els comparem amb els obtinguts al pas dos sobre DAF0...0011 i anotem els resultats. Aquesta diferència l'apliquem sobre el tag DAF0...0001.

Pas 6. Sobre aquests valors nous de potència per a DAF0...0001 apliquem la fórmula corresponent.

*Linear model Poly9:*

$$f(x) = p1*x^9 + p2*x^8 + p3*x^7 + p4*x^6 + p5*x^5 + p6*x^4 + p7*x^3 + p8*x^2 + p9*x + p10$$

*Coefficients (with 95% confidence bounds):*

p1 = 4.519e-18 (2.787e-18, 6.251e-18)  
p2 = -7.521e-15 (-1.017e-14, -4.875e-15)  
p3 = 5.251e-12 (3.558e-12, 6.944e-12)  
p4 = -1.995e-09 (-2.583e-09, -1.406e-09)  
p5 = 4.467e-07 (3.257e-07, 5.678e-07)  
p6 = -5.969e-05 (-7.467e-05, -4.471e-05)  
p7 = 0.004568 (0.003483, 0.005654)  
p8 = -0.1784 (-0.2211, -0.1357)  
p9 = 2.489 (1.714, 3.265)  
p10 = -50.22 (-54.82, -45.62)

Amb *Matlab* seria:

p1 = 6.251e-18  
p2 = -4.875e-15  
p3 = 6.944e-12  
p4 = -1.406e-09

p5 = 5.678e-07

p6 = -4.471e-05

p7 = 0.005654

p8 = -0.1357

p9 = 3.265

p10 = -45.62 – potència

P = [p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8,p9,p10]

Roots(P)

p1 = 2.787e-18

p2 = -1.017e-14

p3 = 3.558e-12

p4 = -2.583e-09

p5 = 3.257e-07

p6 = -7.467e-05

p7 = 0.003483

p8 = -0.2211

p9 = 1.714

p10 = -54.82

P = [p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8,p9,p10]

Roots(P)

I agafem els valors entre 30cm – 80cm que és el camp on les mesures són més fiables (comprovat a les proves inicials).

Pas 7. Dibuixar l'àrea i el *tag*. Això ho fem amb les següents instruccions:

```
x=linspace(0,2*pi,500);plot(34*cos(x)-14,34*sin(x),'m'),grid on,axis equal
```

hold on

```
x=linspace(0,2*pi,500);plot(34*cos(x)-40,34*sin(x),'b'),grid on,axis equal
```

hold on

```
x=linspace(0,2*pi,500);plot(34*cos(x)-65,34*sin(x),'g'),grid on,axis equal
```

hold on

```
x=linspace(0,2*pi,500);plot(50.5*cos(x)-14,50.5*sin(x),'m'),grid on,axis equal
```

hold on

```
x=linspace(0,2*pi,500);plot(50.5*cos(x)-40,50.5*sin(x),'b'),grid on,axis equal
```

hold on

```
x=linspace(0,2*pi,500);plot(50.5*cos(x)-65,50.5*sin(x),'g'),grid on,axis equal
```

```
axis([-100,0,0,40])
title('Punt intersecció 3 circumferències TAG DAF001');
xlabel('Distància (cm) - X');
ylabel('Distància (cm) - Y');
hold on
plot(-30,34,'r*')
```

**Pas 8.** Comparem els valors de fase que tenim per a DAF0...0001 amb els valors que corresponen de fase a la matriu.

	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	92	92	90	84	75	59	33	149	135

*distància fase*

**Pas 9.** Ajustem l'àrea amb els resultats del pas vuit i retornem l'àrea resultant.

