

Localizzazione

Problema, Tecniche, Algoritmi

Luca Pappalardo

Dipartimento di Informatica - Università di Pisa

Reti mobili: Ad Hoc e di sensori, 2011

Sommario

Cosa tratteremo

- 1 LA LOCALIZZAZIONE
- 2 CLASSIFICAZIONE DELLE TECNICHE
 - Anchor based, Anchor free, Range based, Angle based, Range free
- 3 RANGING
 - ToA, TDoA, AoA, RSS
- 4 POSITIONING
 - MinMax, Triangolazione, Trilaterazione, Multilaterazione

Sommario

Cosa tratteremo

- 1 LA LOCALIZZAZIONE
- 2 CLASSIFICAZIONE DELLE TECNICHE
 - Anchor based, Anchor free, Range based, Angle based, Range free
- 3 RANGING
 - ToA, TDoA, AoA, RSS
- 4 POSITIONING
 - MinMax, Triangolazione, Trilaterazione, Multilaterazione

Sommario

Cosa tratteremo

- 1 LA LOCALIZZAZIONE
- 2 CLASSIFICAZIONE DELLE TECNICHE
 - Anchor based, Anchor free, Range based, Angle based, Range free
- 3 RANGING
 - ToA, TDoA, AoA, RSS
- 4 POSITIONING
 - MinMax, Triangolazione, Trilaterazione, Multilaterazione

Sommario

Cosa tratteremo

- 1 LA LOCALIZZAZIONE
- 2 CLASSIFICAZIONE DELLE TECNICHE
 - Anchor based, Anchor free, Range based, Angle based, Range free
- 3 RANGING
 - ToA, TDoA, AoA, RSS
- 4 POSITIONING
 - MinMax, Triangolazione, Trilaterazione, Multilaterazione

La localizzazione

In una RETE DI SENSORI i nodi possono essere disposti:

- **Metodologicamente** (uomini, robot).
 - Le coordinate dei nodi possono essere programmate all'interno dei dispositivi.
- **Casualmente** (aerei).
 - I nodi devono essere in grado di calcolare automaticamente la propria posizione.

La localizzazione

In una RETE DI SENSORI i nodi possono essere disposti:

- **Metodologicamente** (uomini, robot).
 - Le coordinate dei nodi possono essere programmate all'interno dei dispositivi.
- **Casualmente** (aerei).
 - I nodi devono essere in grado di calcolare automaticamente la propria posizione.

La localizzazione

In una RETE DI SENSORI i nodi possono essere disposti:

- **Metodologicamente** (uomini, robot).
 - Le coordinate dei nodi possono essere programmate all'interno dei dispositivi.
- **Casualmente** (aerei).
 - I nodi devono essere in grado di calcolare automaticamente la propria posizione.

La localizzazione

In una RETE DI SENSORI i nodi possono essere disposti:

- **Metodologicamente** (uomini, robot).
 - Le coordinate dei nodi possono essere programmate all'interno dei dispositivi.
- **Casualmente** (aerei).
 - I nodi devono essere in grado di calcolare automaticamente la propria posizione.

La localizzazione

In una RETE DI SENSORI i nodi possono essere disposti:

- **Metodologicamente** (uomini, robot).
 - Le coordinate dei nodi possono essere programmate all'interno dei dispositivi.
- **Casualmente** (aerei).
 - I nodi devono essere in grado di calcolare automaticamente la propria posizione.

La localizzazione

- Non sempre siamo a conoscenza a priori dell'esatta posizione dei sensori.
- Se la posizione è sconosciuta, i dati raccolti non hanno significato.
- Anche quando li conosciamo c'è il problema della mobilità.
- E' di fondamentale importanza riuscire a localizzare ogni singolo nodo della nostra rete.

La localizzazione

- Non sempre siamo a conoscenza a priori dell'esatta posizione dei sensori.
- Se la posizione è sconosciuta, i dati raccolti non hanno significato.
- Anche quando li conosciamo c'è il problema della mobilità.
- E' di fondamentale importanza riuscire a localizzare ogni singolo nodo della nostra rete.

La localizzazione

- Non sempre siamo a conoscenza a priori dell'esatta posizione dei sensori.
- Se la posizione è sconosciuta, i dati raccolti non hanno significato.
- Anche quando li conosciamo c'è il problema della mobilità.
- E' di fondamentale importanza riuscire a localizzare ogni singolo nodo della nostra rete.

La localizzazione

- Non sempre siamo a conoscenza a priori dell'esatta posizione dei sensori.
- Se la posizione è sconosciuta, i dati raccolti non hanno significato.
- Anche quando li conosciamo c'è il problema della mobilità.
- E' di fondamentale importanza riuscire a localizzare ogni singolo nodo della nostra rete.

La localizzazione

GPS (Global Positioning System)

- GPS è un sistema accurato di stima della posizione.
- Non può essere utilizzato in ambienti indoor perchè usa segnali proveniente dal satellite.

La localizzazione

GPS (Global Positioning System)

- GPS è un sistema accurato di stima della posizione.
- Non può essere utilizzato in ambienti indoor perchè usa segnali proveniente dal satellite.

La localizzazione

Motivazione

Motivazione

Una localizzazione accurata e a basso costo è un requisito critico per un corretto funzionamento di una rete wireless di sensori in ambienti chiusi.

Scenari Anchor based o Anchor free

Possiamo trovarci in due possibili scenari:

- **Anchor based.**

Solo i nodi "ancora" conoscono la posizione. Gli altri nodi usano la posizione delle ancore per determinare la propria. Si ottiene un sistema di coordinate assoluto.

- **Anchor free.**

Nessun nodo conosce la propria posizione. Si ottiene un sistema di coordinate relative.

Scenari Anchor based o Anchor free

Possiamo trovarci in due possibili scenari:

- **Anchor based.**

Solo i nodi "ancora" conoscono la posizione. Gli altri nodi usano la posizione delle ancore per determinare la propria. Si ottiene un sistema di coordinate assoluto.

- **Anchor free.**

Nessun nodo conosce la propria posizione. Si ottiene un sistema di coordinate relative.

Scenari Anchor based o Anchor free

Possiamo trovarci in due possibili scenari:

- **Anchor based.**

Solo i nodi "ancora" conoscono la posizione. Gli altri nodi usano la posizione delle ancore per determinare la propria. Si ottiene un sistema di coordinate assoluto.

- **Anchor free.**

Nessun nodo conosce la propria posizione. Si ottiene un sistema di coordinate relative.

Anchor based - Vantaggi e Svantaggi

● VANTAGGI

- Posizione determinata in modo univoco.
- La posizione può essere utilizzata al di fuori da altri sistemi di localizzazione.

● SVANTAGGI

- Tutti i nodi ancora devono conoscere la propria posizione ed essere posizionati correttamente nella rete.
- Gli altri nodi devono essere posizionati vicino alle ancore per poter essere localizzati.

Anchor based - Vantaggi e Svantaggi

- VANTAGGI

- Posizione determinata in modo univoco.
- La posizione può essere utilizzata al di fuori da altri sistemi di localizzazione.

- SVANTAGGI

- Tutti i nodi ancora devono conoscere la propria posizione ed essere posizionati correttamente nella rete.
- Gli altri nodi devono essere posizionati vicino alle ancore per poter essere localizzati.

Anchor based - Vantaggi e Svantaggi

- VANTAGGI

- Posizione determinata in modo univoco.
- La posizione può essere utilizzata al di fuori da altri sistemi di localizzazione.

- SVANTAGGI

- Tutti i nodi ancora devono conoscere la propria posizione ed essere posizionati correttamente nella rete.
- Gli altri nodi devono essere posizionati vicino alle ancore per poter essere localizzati.

Anchor based - Vantaggi e Svantaggi

- VANTAGGI

- Posizione determinata in modo univoco.
- La posizione può essere utilizzata al di fuori da altri sistemi di localizzazione.

- SVANTAGGI

- Tutti i nodi ancora devono conoscere la propria posizione ed essere posizionati correttamente nella rete.
- Gli altri nodi devono essere posizionati vicino alle ancore per poter essere localizzati.

Anchor based - Vantaggi e Svantaggi

● VANTAGGI

- Posizione determinata in modo univoco.
- La posizione può essere utilizzata al di fuori da altri sistemi di localizzazione.

● SVANTAGGI

- Tutti i nodi ancora devono conoscere la propria posizione ed essere posizionati correttamente nella rete.
- Gli altri nodi devono essere posizionati vicino alle ancore per poter essere localizzati.

Anchor based - Vantaggi e Svantaggi

- VANTAGGI

- Posizione determinata in modo univoco.
- La posizione può essere utilizzata al di fuori da altri sistemi di localizzazione.

- SVANTAGGI

- Tutti i nodi ancora devono conoscere la propria posizione ed essere posizionati correttamente nella rete.
- Gli altri nodi devono essere posizionati vicino alle ancore per poter essere localizzati.

Anchor free - Vantaggi e Svantaggi

- VANTAGGI

- Non ci sono problemi di disposizione dei nodi.
- I nodi possono essere disposti in modo casuale.

- SVANTAGGI

- La posizione è valida solo all'interno della rete.
- L'assenza di nodi ancora produce una propagazione dell'errore rispetto ad una rete ANCHOR BASED.

Anchor free - Vantaggi e Svantaggi

- VANTAGGI

- Non ci sono problemi di disposizione dei nodi.
- I nodi possono essere disposti in modo casuale.

- SVANTAGGI

- La posizione è valida solo all'interno della rete.
- L'assenza di nodi ancora produce una propagazione dell'errore rispetto ad una rete ANCHOR BASED.

Anchor free - Vantaggi e Svantaggi

- VANTAGGI

- Non ci sono problemi di disposizione dei nodi.
- I nodi possono essere disposti in modo casuale.

- SVANTAGGI

- La posizione è valida solo all'interno della rete.
- L'assenza di nodi ancora produce una propagazione dell'errore rispetto ad una rete ANCHOR BASED.

Anchor free - Vantaggi e Svantaggi

- VANTAGGI

- Non ci sono problemi di disposizione dei nodi.
- I nodi possono essere disposti in modo casuale.

- SVANTAGGI

- La posizione è valida solo all'interno della rete.
- L'assenza di nodi ancora produce una propagazione dell'errore rispetto ad una rete ANCHOR BASED.

Anchor free - Vantaggi e Svantaggi

- VANTAGGI

- Non ci sono problemi di disposizione dei nodi.
- I nodi possono essere disposti in modo casuale.

- SVANTAGGI

- La posizione è valida solo all'interno della rete.
- L'assenza di nodi ancora produce una propagazione dell'errore rispetto ad una rete ANCHOR BASED.

Anchor free - Vantaggi e Svantaggi

- VANTAGGI

- Non ci sono problemi di disposizione dei nodi.
- I nodi possono essere disposti in modo casuale.

- SVANTAGGI

- La posizione è valida solo all'interno della rete.
- L'assenza di nodi ancora produce una propagazione dell'errore rispetto ad una rete ANCHOR BASED.

Determinazione della posizione

- Stabilito lo scenario ANCHOR BASED/ANCHOR FREE, il calcolo della posizione si effettua in base alla conoscenza della distanza che separa i nodi.
- Ci sono tre famiglie di tecniche:
 - Range based
 - Angle based
 - Range free

Determinazione della posizione

- Stabilito lo scenario ANCHOR BASED/ANCHOR FREE, il calcolo della posizione si effettua in base alla conoscenza della distanza che separa i nodi.
- Ci sono tre famiglie di tecniche:
 - Range based
 - Angle based
 - Range free

Determinazione della posizione

- Stabilito lo scenario ANCHOR BASED/ANCHOR FREE, il calcolo della posizione si effettua in base alla conoscenza della distanza che separa i nodi.
- Ci sono tre famiglie di tecniche:
 - **Range based**
 - Angle based
 - Range free

Determinazione della posizione

- Stabilito lo scenario ANCHOR BASED/ANCHOR FREE, il calcolo della posizione si effettua in base alla conoscenza della distanza che separa i nodi.
- Ci sono tre famiglie di tecniche:
 - **Range based**
 - **Angle based**
 - Range free

Determinazione della posizione

- Stabilito lo scenario ANCHOR BASED/ANCHOR FREE, il calcolo della posizione si effettua in base alla conoscenza della distanza che separa i nodi.
- Ci sono tre famiglie di tecniche:
 - **Range based**
 - **Angle based**
 - **Range free**

Tecnica RANGE BASED

- Basata sulla distanza euclidea.
- Vengono effettuate misurazioni per conoscere la distanza tra i nodi.
- Mini-Max, Trilaterazione, Multilaterazione

Tecnica RANGE BASED

- Basata sulla distanza euclidea.
- Vengono effettuate misurazioni per conoscere la distanza tra i nodi.
- Mini-Max, Trilaterazione, Multilaterazione

Tecnica RANGE BASED

- Basata sulla distanza euclidea.
- Vengono effettuate misurazioni per conoscere la distanza tra i nodi.
- Mini-Max, Trilaterazione, Multilaterazione

Tecnica RANGE BASED

- Basata sulla distanza euclidea.
- Vengono effettuate misurazioni per conoscere la distanza tra i nodi.
- Mini-Max, Trilaterazione, Multilaterazione

Tecnica ANGLE BASED

- Basata sulla distanza angolare tra i nodi della rete.
- Sfrutta proprietà geometriche e trigonometriche
- Si usano algoritmi come la Triangolazione.

Tecnica ANGLE BASED

- **Basata sulla distanza angolare tra i nodi della rete.**
- Sfrutta proprietà geometriche e trigonometriche
- Si usano algoritmi come la Triangolazione.

Tecnica ANGLE BASED

- Basata sulla distanza angolare tra i nodi della rete.
- Sfrutta proprietà geometriche e trigonometriche
- Si usano algoritmi come la Triangolazione.

Tecnica ANGLE BASED

- Basata sulla distanza angolare tra i nodi della rete.
- Sfrutta proprietà geometriche e trigonometriche
- Si usano algoritmi come la Triangolazione.

Tecnica RANGE FREE

- Indipendente dalla distanza euclidea.
- Usano coordinate virtuali
- La corrispondenza tra coordinate virtuali e fisiche è lasciata al nodo sink

Tecnica RANGE FREE

- **Indipendente dalla distanza euclidea.**
- Usano coordinate virtuali
- La corrispondenza tra coordinate virtuali e fisiche è lasciata al nodo sink

Tecnica RANGE FREE

- Indipendente dalla distanza euclidea.
- Usano coordinate virtuali
- La corrispondenza tra coordinate virtuali e fisiche è lasciata al nodo sink

Tecnica RANGE FREE

- Indipendente dalla distanza euclidea.
- Usano coordinate virtuali
- La corrispondenza tra coordinate virtuali e fisiche è lasciata al nodo sink

Fasi della localizzazione

Negli algoritmi di localizzazione sono identificabili tre fasi:

1 **Ranging**

Vengono stimate le distanze attraverso particolari misurazioni

2 **Positioning**

Una volte determinate le distanze un nodo può determinare la propria posizione con un certa precisione.

3 **Refinement**

L'accuratezza della posizione viene migliorata attraverso una procedura iterativa.

Fasi della localizzazione

Negli algoritmi di localizzazione sono identificabili tre fasi:

1 Ranging

Vengono stimate le distanze attraverso particolari misurazioni

2 Positioning

Una volta determinate le distanze un nodo può determinare la propria posizione con un certa precisione.

3 Refinement

L'accuratezza della posizione viene migliorata attraverso una procedura iterativa.

Fasi della localizzazione

Negli algoritmi di localizzazione sono identificabili tre fasi:

1 **Ranging**

Vengono stimate le distanze attraverso particolari misurazioni

2 **Positioning**

Una volta determinate le distanze un nodo può determinare la propria posizione con un certa precisione.

3 **Refinement**

L'accuratezza della posizione viene migliorata attraverso una procedura iterativa.

Fasi della localizzazione

Negli algoritmi di localizzazione sono identificabili tre fasi:

1 **Ranging**

Vengono stimate le distanze attraverso particolari misurazioni

2 **Positioning**

Una volta determinate le distanze un nodo può determinare la propria posizione con un certa precisione.

3 **Refinement**

L'accuratezza della posizione viene migliorata attraverso una procedura iterativa.

Ranging

Tecniche

Stima delle distanze attraverso misurazioni fra nodi:

- Time of arrival (ToA)
- Time Difference of Arrival (TDoA)
- Angle of Arrival (AoA)
- Received Signal Strength Indicator (RSS)
- Carrier phase

Ranging

Tecniche

Stima delle distanze attraverso misurazioni fra nodi:

- Time of arrival (ToA)
- Time Difference of Arrival (TDoA)
- Angle of Arrival (AoA)
- Received Signal Strength Indicator (RSS)
- Carrier phase

Ranging

Tecniche

Stima delle distanze attraverso misurazioni fra nodi:

- Time of arrival (ToA)
- Time Difference of Arrival (TDoA)
- Angle of Arrival (AoA)
- Received Signal Strength Indicator (RSS)
- Carrier phase

Ranging

Tecniche

Stima delle distanze attraverso misurazioni fra nodi:

- Time of arrival (ToA)
- Time Difference of Arrival (TDoA)
- Angle of Arrival (AoA)
- Received Signal Strength Indicator (RSS)
- Carrier phase

Ranging

Tecniche

Stima delle distanze attraverso misurazioni fra nodi:

- Time of arrival (ToA)
- Time Difference of Arrival (TDoA)
- Angle of Arrival (AoA)
- Received Signal Strength Indicator (RSS)
- Carrier phase

Ranging

Tecniche

Stima delle distanze attraverso misurazioni fra nodi:

- Time of arrival (ToA)
- Time Difference of Arrival (TDoA)
- Angle of Arrival (AoA)
- Received Signal Strength Indicator (RSS)
- Carrier phase

Ranging

Tecniche

Stima delle distanze attraverso misurazioni fra nodi:

- Time of arrival (ToA)
- Time Difference of Arrival (TDoA)
- Angle of Arrival (AoA)
- Received Signal Strength Indicator (RSS)
- Carrier phase

Time of arrival

- La stima della distanza è ricavato misurando il tempo di propagazione del segnale
- **Time of Flight:** $T_f = d/c$
 - d è la distanza tra i nodi
 - c è la velocità di propagazione ($c = 299792, 458\text{km/s}$)
- Due modalità: One-way TOA, e Two-Way TOA

Time of arrival

- La stima della distanza è ricavato misurando il tempo di propagazione del segnale
- **Time of Flight:** $T_f = d/c$
 - d è la distanza tra i nodi
 - c è la velocità di propagazione ($c = 299792, 458\text{km/s}$)
- Due modalità: One-way TOA, e Two-Way TOA

Time of arrival

- La stima della distanza è ricavato misurando il tempo di propagazione del segnale
- **Time of Flight:** $T_f = d/c$
 - d è la distanza tra i nodi
 - c è la velocità di propagazione ($c = 299792, 458\text{km/s}$)
- Due modalità: One-way TOA, e Two-Way TOA

Time of arrival

- La stima della distanza è ricavato misurando il tempo di propagazione del segnale
- **Time of Flight:** $T_f = d/c$
 - d è la distanza tra i nodi
 - c è la velocità di propagazione ($c = 299792,458\text{km/s}$)
- Due modalità: One-way TOA, e Two-Way TOA

Time of arrival

- La stima della distanza è ricavato misurando il tempo di propagazione del segnale
- **Time of Flight:** $T_f = d/c$
 - d è la distanza tra i nodi
 - c è la velocità di propagazione ($c = 299792,458\text{km/s}$)
- Due modalità: One-way TOA, e Two-Way TOA

One-way TOA



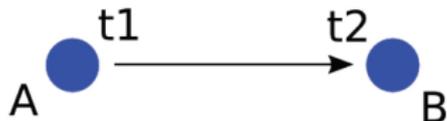
- A trasmette segnale al tempo t_1 . Arriva a B al tempo t_2
- Il T_f è la differenza tra i due istanti
- B risale alla distanza da A (velocità di trasmissione nota)

One-way TOA



- A trasmette segnale al tempo t_1 . Arriva a B al tempo t_2
- Il T_f è la differenza tra i due istanti
- B risale alla distanza da A (velocità di trasmissione nota)

One-way TOA



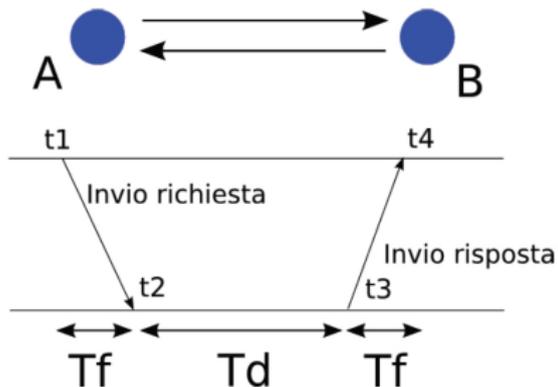
- A trasmette segnale al tempo t_1 . Arriva a B al tempo t_2
- Il T_f è la differenza tra i due istanti
- B risale alla distanza da A (velocità di trasmissione nota)

One-way TOA



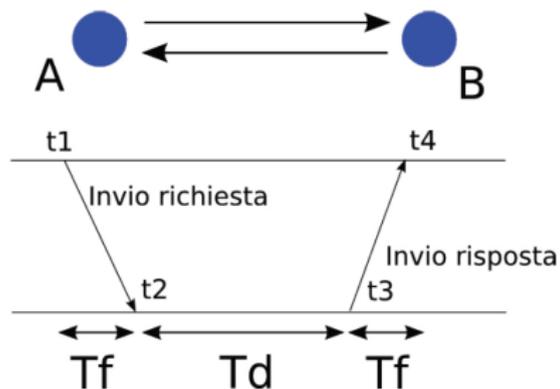
- A trasmette segnale al tempo t_1 . Arriva a B al tempo t_2
- Il T_f è la differenza tra i due istanti
- B risale alla distanza da A (velocità di trasmissione nota)

Two-way TOA



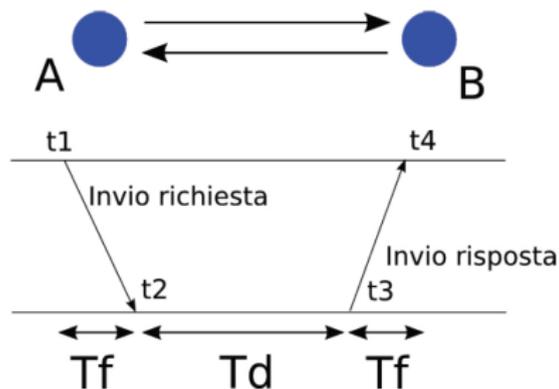
- A trasmette segnale al tempo t_1 . Arriva a B al tempo t_2
- B elabora il messaggio in tempo T_d e poi risponde ad A
- $T_f = \frac{(t_2 - t_1) + (t_4 - t_3)}{2}$

Two-way TOA



- A trasmette segnale al tempo t_1 . Arriva a B al tempo t_2
- B elabora il messaggio in tempo T_d e poi risponde ad A
- $T_f = \frac{(t_2 - t_1) + (t_4 - t_3)}{2}$

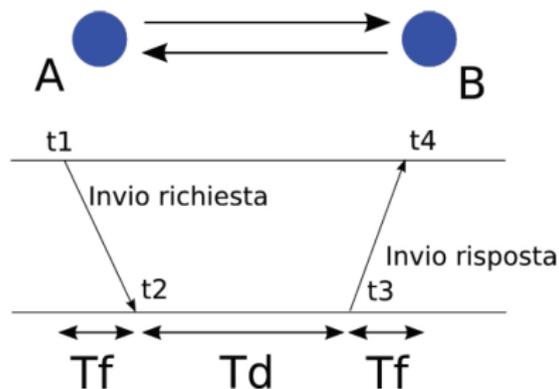
Two-way TOA



- A trasmette segnale al tempo t_1 . Arriva a B al tempo t_2
- B elabora il messaggio in tempo T_d e poi risponde ad A

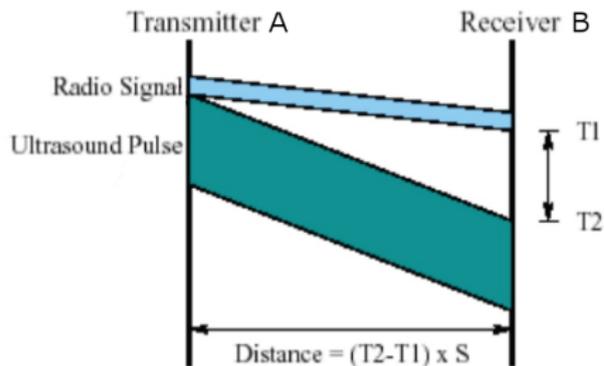
- $$T_f = \frac{(t_2 - t_1) + (t_4 - t_3)}{2}$$

Two-way TOA



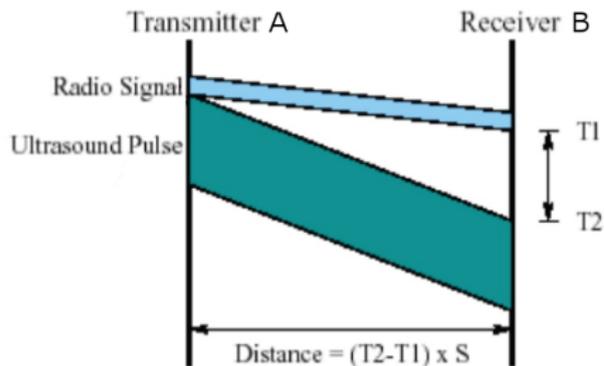
- A trasmette segnale al tempo t_1 . Arriva a B al tempo t_2
- B elabora il messaggio in tempo T_d e poi risponde ad A
- $T_f = \frac{(t_2 - t_1) + (t_4 - t_3)}{2}$

Time difference of arrival



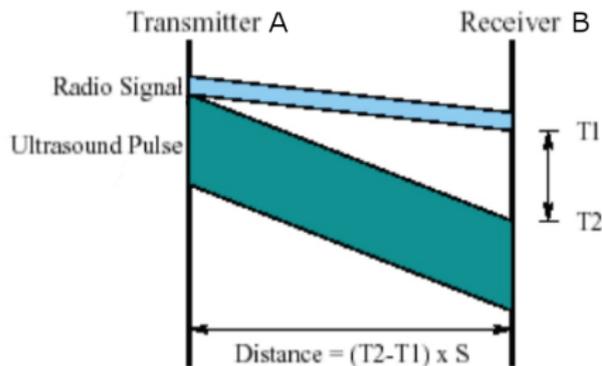
- A trasmette prima un RF e poi un US
- I due segnali hanno velocità diverse (US più lento)
- I ricevitori deducono la distanza dalla differenze degli istanti e dalle velocità di propagazione.

Time difference of arrival



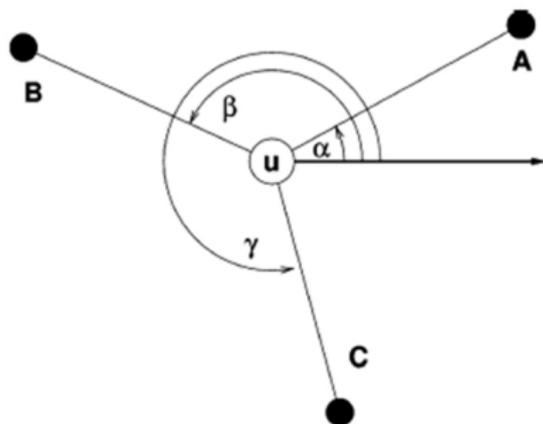
- A trasmette prima un RF e poi un US
- I due segnali hanno velocità diverse (US più lento)
- I ricevitori deducono la distanza dalla differenze degli istanti e dalle velocità di propagazione.

Time difference of arrival



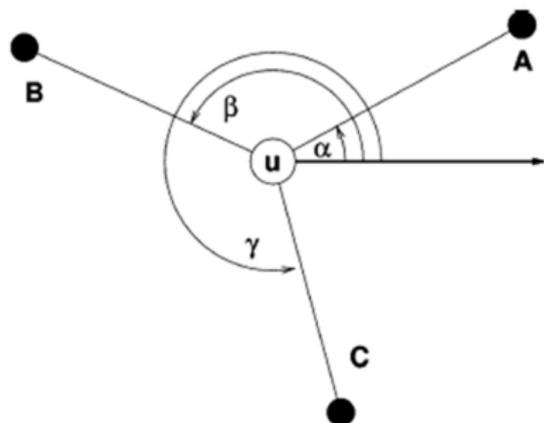
- A trasmette prima un RF e poi un US
- I due segnali hanno velocità diverse (US più lento)
- I ricevitori deducono la distanza dalla differenze degli istanti e dalle velocità di propagazione.

Angle of arrival



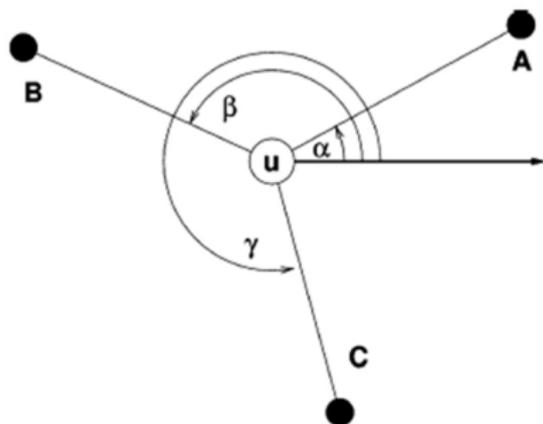
- Antenne direzionali per stimare l'angolo di arrivo dei segnali
- u misura l'angolo di arrivo dei segnali in base ad un sistema angolare
- Problemi: antenne, interference, ostacoli

Angle of arrival



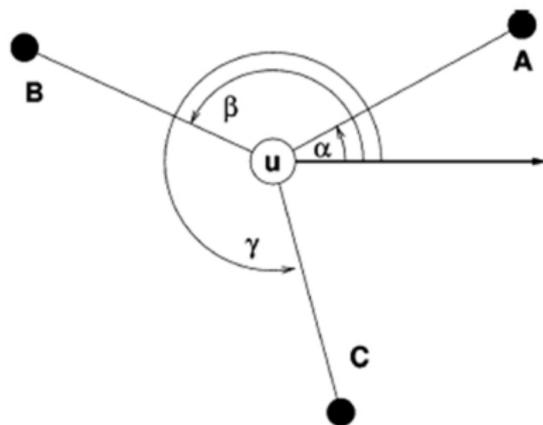
- Antenne direzionali per stimare l'angolo di arrivo dei segnali
- u misura l'angolo di arrivo dei segnali in base ad un sistema angolare
- Problemi: antenne, interference, ostacoli

Angle of arrival



- Antenne direzionali per stimare l'angolo di arrivo dei segnali
- u misura l'angolo di arrivo dei segnali in base ad un sistema angolare
- Problemi: antenne, interference, ostacoli

Angle of arrival



- Antenne direzionali per stimare l'angolo di arrivo dei segnali
- u misura l'angolo di arrivo dei segnali in base ad un sistema angolare
- Problemi: antenne, interference, ostacoli

RSS

- Un segnale si attenua durante la propagazione
- Distanza calcolata in base all'intensità del segnale
- La stima della potenza del segnale (in dBm) è data da l'indicatore **RSSI** (*Received Signal Strength Indicator*)
- Non necessario hardware aggiuntivo
- Non è precisissimo

RSS

- Un segnale si attenua durante la propagazione
- Distanza calcolata in base all'intensità del segnale
- La stima della potenza del segnale (in dBm) è data da l'indicatore **RSSI** (*Received Signal Strength Indicator*)
- Non necessario hardware aggiuntivo
- Non è precisissimo

RSS

- Un segnale si attenua durante la propagazione
- Distanza calcolata in base all'intensità del segnale
- La stima della potenza del segnale (in dBm) è data da l'indicatore **RSSI** (*Received Signal Strength Indicator*)
- Non necessario hardware aggiuntivo
- Non è precisissimo

RSS

- Un segnale si attenua durante la propagazione
- Distanza calcolata in base all'intensità del segnale
- La stima della potenza del segnale (in dBm) è data da l'indicatore **RSSI** (*Received Signal Strength Indicator*)
- Non necessario hardware aggiuntivo
- Non è precisissimo

RSS

- Un segnale si attenua durante la propagazione
- Distanza calcolata in base all'intensità del segnale
- La stima della potenza del segnale (in dBm) è data da l'indicatore **RSSI** (*Received Signal Strength Indicator*)
- Non necessario hardware aggiuntivo
- Non è precisissimo

RSS

- Un segnale si attenua durante la propagazione
- Distanza calcolata in base all'intensità del segnale
- La stima della potenza del segnale (in dBm) è data da l'indicatore **RSSI** (*Received Signal Strength Indicator*)
- Non necessario hardware aggiuntivo
- Non è precisissimo

RSS

Distanza dal trasmettitore valutata con l'equazione di *Friis*

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^n} \quad (1)$$

- P_R e P_T : potenza del segnale (Watt) ricevuto e trasmesso
- G_R e G_T : guadagno dell'antenna ricevente e trasmittente
- $\lambda = c/f$: lunghezza d'onda dove (f frequenza)
- d : distanza in metri
- n : costante di propagazione del segnale (dipende dall'ambiente)

RSS

Distanza dal trasmettitore valutata con l'equazione di *Friis*

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^n} \quad (1)$$

- P_R e P_T : potenza del segnale (Watt) ricevuto e trasmesso
- G_R e G_T : guadagno dell'antenna ricevente e trasmittente
- $\lambda = c/f$: lunghezza d'onda dove (f frequenza)
- d : distanza in metri
- n : costante di propagazione del segnale (dipende dall'ambiente)

RSS

Distanza dal trasmettitore valutata con l'equazione di *Friis*

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^n} \quad (1)$$

- P_R e P_T : potenza del segnale (Watt) ricevuto e trasmesso
- G_R e G_T : guadagno dell'antenna ricevente e trasmittente
- $\lambda = c/f$: lunghezza d'onda dove (f frequenza)
- d : distanza in metri
- n : costante di propagazione del segnale (dipende dall'ambiente)

RSS

Distanza dal trasmettitore valutata con l'equazione di *Friis*

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^n} \quad (1)$$

- P_R e P_T : potenza del segnale (Watt) ricevuto e trasmesso
- G_R e G_T : guadagno dell'antenna ricevente e trasmittente
- $\lambda = c/f$: lunghezza d'onda dove (f frequenza)
- d : distanza in metri
- n : costante di propagazione del segnale (dipende dall'ambiente)

RSS

Distanza dal trasmettitore valutata con l'equazione di *Friis*

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^n} \quad (1)$$

- P_R e P_T : potenza del segnale (Watt) ricevuto e trasmesso
- G_R e G_T : guadagno dell'antenna ricevente e trasmittente
- $\lambda = c/f$: lunghezza d'onda dove (f frequenza)
- d : distanza in metri
- n : costante di propagazione del segnale (dipende dall'ambiente)

RSS

Distanza dal trasmettitore valutata con l'equazione di *Friis*

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^n} \quad (1)$$

- P_R e P_T : potenza del segnale (Watt) ricevuto e trasmesso
- G_R e G_T : guadagno dell'antenna ricevente e trasmittente
- $\lambda = c/f$: lunghezza d'onda dove (f frequenza)
- d : distanza in metri
- n : costante di propagazione del segnale (dipende dall'ambiente)

RSS

Distanza dal trasmettitore valutata con l'equazione di *Friis*

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^n} \quad (1)$$

- P_R e P_T : potenza del segnale (Watt) ricevuto e trasmesso
- G_R e G_T : guadagno dell'antenna ricevente e trasmittente
- $\lambda = c/f$: lunghezza d'onda dove (f frequenza)
- d : distanza in metri
- n : costante di propagazione del segnale (dipende dall'ambiente)

RSS

- Potenza da watt a dBm tramite

$$P[\text{dBm}] = 10 \log_{10}(10^3 P[\text{W}]) \quad (2)$$

- Combinando la (1) e la (2) ed applicando le proprietà dei logaritmi:

$$RSSI = -(10n \log_{10} \mathbf{d} - A) \quad (3)$$

dove A è la potenza del segnale ricevuto (dBm), a distanza di un metro con costante di propagazione n .

RSS

- Potenza da watt a dBm tramite

$$P[\text{dBm}] = 10 \log_{10}(10^3 P[\text{W}]) \quad (2)$$

- Combinando la (1) e la (2) ed applicando le proprietà dei logaritmi:

$$RSSI = -(10n \log_{10} \mathbf{d} - A) \quad (3)$$

dove A è la potenza del segnale ricevuto (dBm), a distanza di un metro con costante di propagazione n .

RSS

- Potenza da watt a dBm tramite

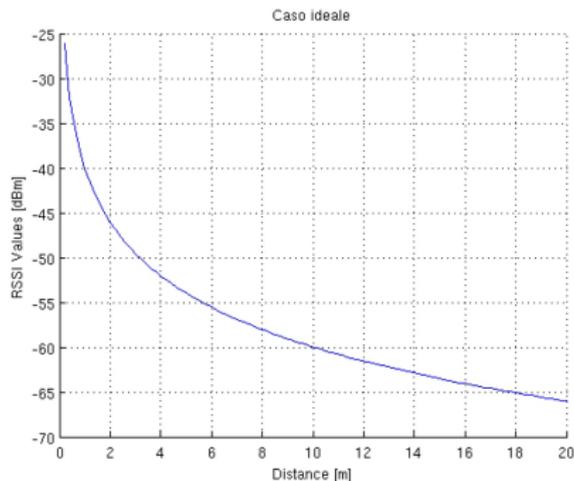
$$P[\text{dBm}] = 10 \log_{10}(10^3 P[\text{W}]) \quad (2)$$

- Combinando la (1) e la (2) ed applicando le proprietà dei logaritmi:

$$RSSI = -(10n \log_{10} \mathbf{d} - A) \quad (3)$$

dove A è la potenza del segnale ricevuto (dBm), a distanza di un metro con costante di propagazione n .

RSS



Andamento della potenza in funzione della distanza ($n = 2$,
 $A = -40$ dBm)

RSS

- Aggiustiamo la relazione isolando la distanza:

$$\mathbf{d} = 10\left(\frac{A - RSSI}{10n}\right) \quad (4)$$

- Con questa formula possiamo calcolare la distanza tra due nodi conoscendo il valore $RSSI$ ed i parametri A ed n .

RSS: PROBLEMI

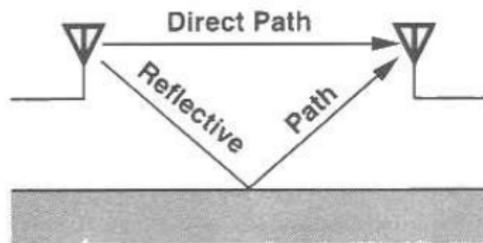


Figure: Riflessione

PROBLEMI IN RSS

- **Riflessione**

Il segnale si propaga anche attraverso un percorso riflesso (provoca Multi-path fading)

- **Assorbimento**

Altera il normale decadimento dell'intensità che si avrebbe in spazio libero

- **Problema in ambienti indoor**

RSS: PROBLEMI

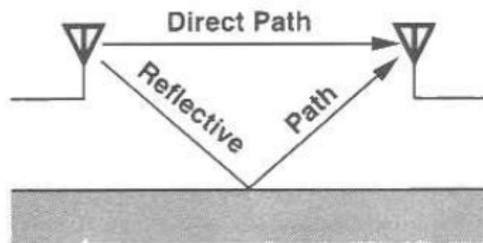


Figure: Riflessione

PROBLEMI IN RSS

- **Riflessione**
Il segnale si propaga anche attraverso un percorso riflesso (provoca Multi-path fading)
- **Assorbimento**
Altera il normale decadimento dell'intensità che si avrebbe in spazio libero
- **Problema in ambienti indoor**

RSS: PROBLEMI

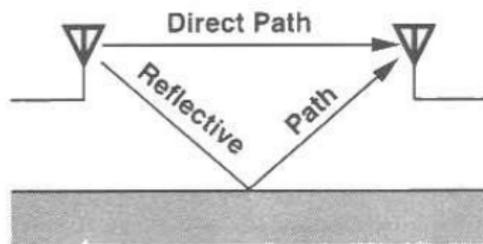


Figure: Riflessione

PROBLEMI IN RSS

- **Riflessione**
Il segnale si propaga anche attraverso un percorso riflesso (provoca Multi-path fading)
- **Assorbimento**
Altera il normale decadimento dell'intensità che si avrebbe in spazio libero
- **Problema in ambienti indoor**

RSS: PROBLEMI

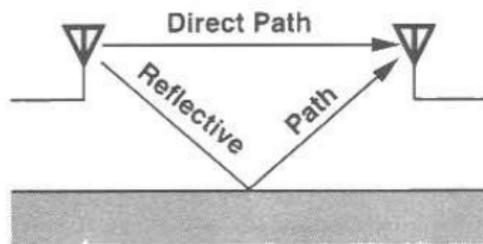


Figure: Riflessione

PROBLEMI IN RSS

- **Riflessione**
Il segnale si propaga anche attraverso un percorso riflesso (provoca Multi-path fading)
- **Assorbimento**
Altera il normale decadimento dell'intensità che si avrebbe in spazio libero
- Problema in ambienti indoor

RSS: PROBLEMI

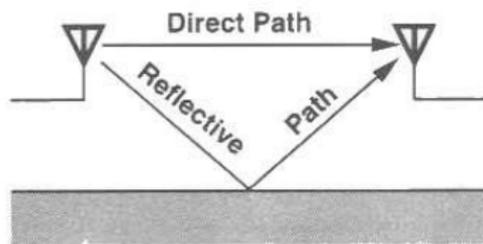


Figure: Riflessione

PROBLEMI IN RSS

- Riflessione
Il segnale si propaga anche attraverso un percorso riflesso (provoca Multi-path fading)
- Assorbimento
Altera il normale decadimento dell'intensità che si avrebbe in spazio libero
- Problema in ambienti indoor

Positioning

- Dopo il ranging i nodi determinano la propria posizione.
- Questa fase è detta **positioning** (non accurata)
- Vari algoritmi:
 - Min-Max, Triangolazione, Trilaterazione, Multilaterazione

Positioning

- Dopo il ranging i nodi determinano la propria posizione.
- Questa fase è detta **positioning** (non accurata)
- Vari algoritmi:
 - Min-Max, Triangolazione, Trilaterazione, Multilaterazione

Positioning

- Dopo il ranging i nodi determinano la propria posizione.
- Questa fase è detta **positioning** (non accurata)
- Vari algoritmi:
 - Min-Max, Triangolazione. Trilaterazione, Multilaterazione

MIN-MAX

- Ideato da *Andreas Savvides*, è uno dei più diffusi
- Estrema semplicità di implementazione
- Stime non accuratissime ma vicine a quelle della multilaterazione
- Metodo range-based e anchor-based
- Usa RSSI

MIN-MAX

- Ideato da *Andreas Savvides*, è uno dei più diffusi
- Estrema semplicità di implementazione
- Stime non accuratissime ma vicine a quelle della multilaterazione
- Metodo range-based e anchor-based
- Usa RSSI

MIN-MAX

- Ideato da *Andreas Savvides*, è uno dei più diffusi
- Estrema semplicità di implementazione
- Stime non accuratissime ma vicine a quelle della multilaterazione
- Metodo range-based e anchor-based
- Usa RSSI

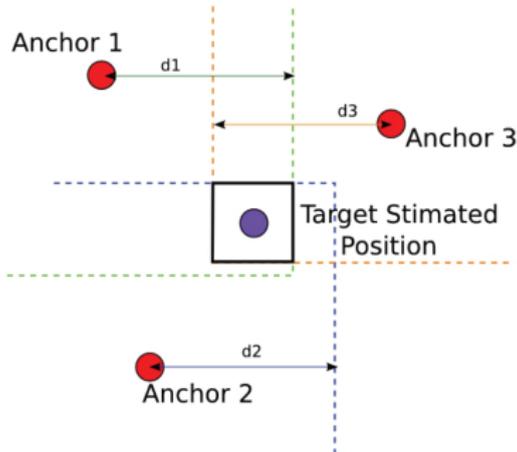
MIN-MAX

- Ideato da *Andreas Savvides*, è uno dei più diffusi
- Estrema semplicità di implementazione
- Stime non accuratissime ma vicine a quelle della multilaterazione
- Metodo range-based e anchor-based
- Usa RSSI

MIN-MAX

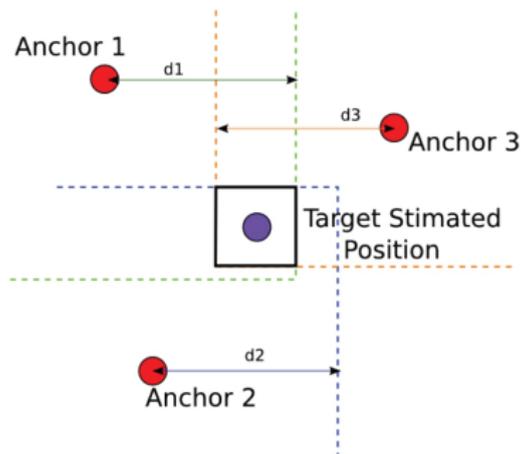
- Ideato da *Andreas Savvides*, è uno dei più diffusi
- Estrema semplicità di implementazione
- Stime non accuratissime ma vicine a quelle della multilaterazione
- Metodo range-based e anchor-based
- Usa RSSI

MIN-MAX



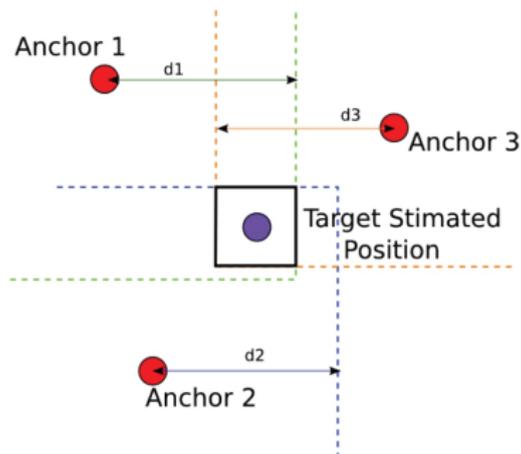
- Converti RSSI in una distanza d_i da un nodo ancora i
- Disegna due linee orizzontali e due verticali a distanza d_i dall'ancora
- Otteniamo un quadrato di lato $2d_i$

MIN-MAX



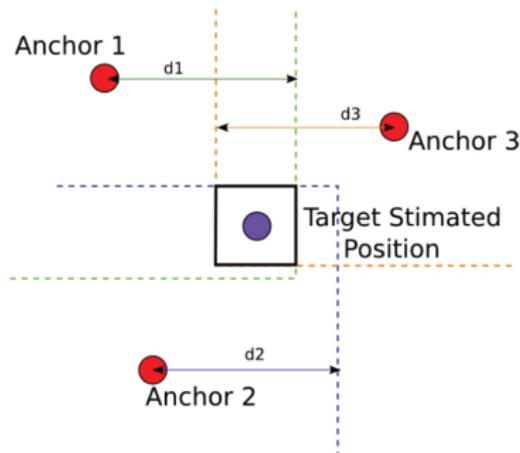
- Converta RSSI in una distanza d_i da un nodo ancora i
- Disegna due linee orizzontali e due verticali a distanza d_i dall'ancora
- Otteniamo un quadrato di lato $2d_i$

MIN-MAX



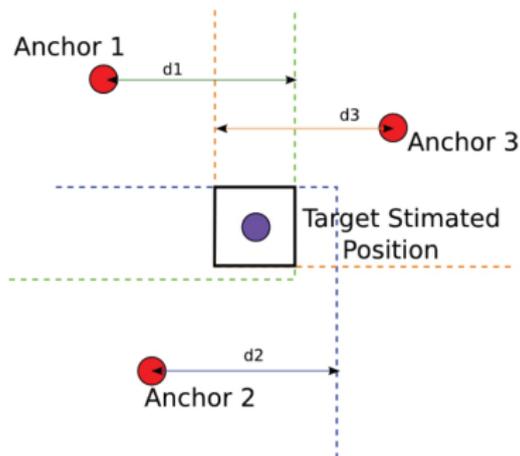
- Converta RSSI in una distanza d_i da un nodo ancora i
- Disegna due linee orizzontali e due verticali a distanza d_i dall'ancora
- Otteniamo un quadrato di lato $2d_i$

MIN-MAX



- Converti RSSI in una distanza d_i da un nodo ancora i
- Disegna due linee orizzontali e due verticali a distanza d_i dall'ancora
- Otteniamo un quadrato di lato $2d_i$

MIN-MAX

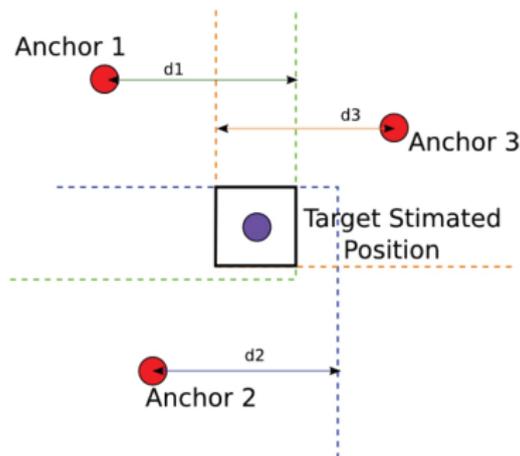


- L'intersezione determina un quadrato con estremi

$$[max(x_i - d_i), max(y_i - d_i)] \times [min(x_i + d_i), min(y_i + d_i))]$$

- Il centro del quadrato è la posizione stimata
- Più piccola è l'area, maggiore è l'accuratezza

MIN-MAX

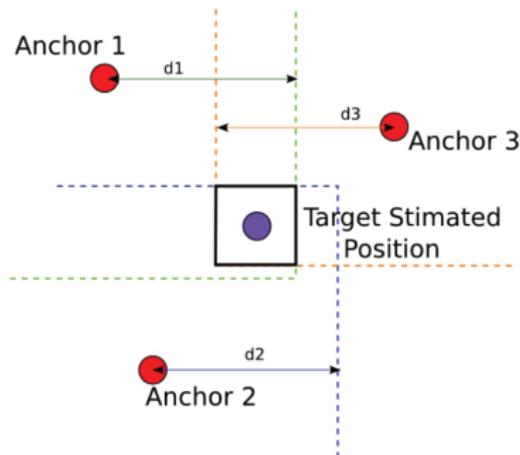


- L'intersezione determina un quadrato con estremi

$$[max(x_i - d_i), max(y_i - d_i)] \times [min(x_i + d_i), min(y_i + d_i))]$$

- Il centro del quadrato è la posizione stimata
- Più piccola è l'area, maggiore è l'accuratezza

MIN-MAX

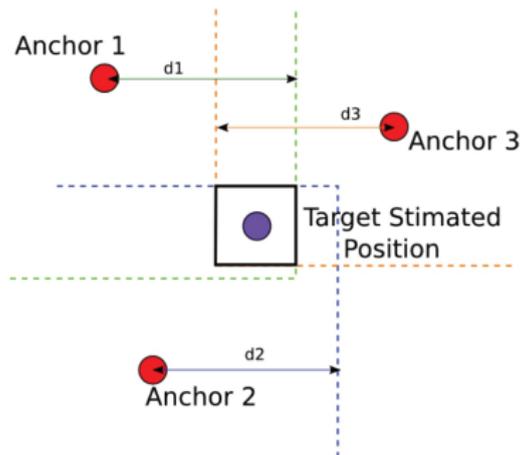


- L'intersezione determina un quadrato con estremi

$$[max(x_i - d_i), max(y_i - d_i)] \times [min(x_i + d_i), min(y_i + d_i))]$$

- Il centro del quadrato è la posizione stimata
- Più piccola è l'area, maggiore è l'accuratezza

MIN-MAX



- L'intersezione determina un quadrato con estremi

$$\begin{aligned} & [max(x_i - d_i), max(y_i - d_i)] \times \\ & [min(x_i + d_i), min(y_i + d_i)] \end{aligned}$$

- Il centro del quadrato è la posizione stimata
- Più piccola è l'area, maggiore è l'accuratezza

Triangolazione

- Calcola le coordinate del nodo a partire dagli angoli che forma con i nodi ancora con coordinate note
- Utilizza regole trigonometriche per calcolare le coordinate
- E' anchor based e angle based

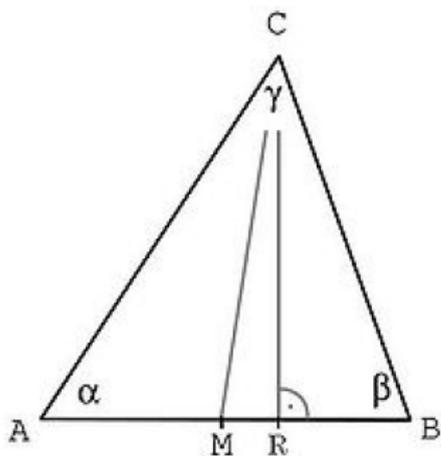
Triangolazione

- Calcola le coordinate del nodo a partire dagli angoli che forma con i nodi ancora con coordinate note
- Utilizza regole trigonometriche per calcolare le coordinate
- E' anchor based e angle based

Triangolazione

- Calcola le coordinate del nodo a partire dagli angoli che forma con i nodi ancora con coordinate note
- Utilizza regole trigonometriche per calcolare le coordinate
- E' anchor based e angle based

Triangolazione



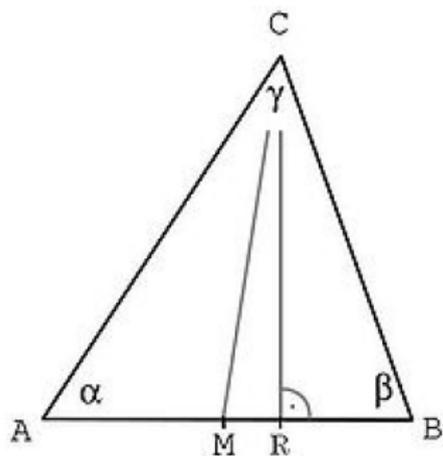
- La distanza AB è nota
- Possiamo facilmente calcolare:

$$AC = \frac{AB \sin \beta}{\sin \gamma} \text{ e } BC = \frac{AB \sin \alpha}{\sin \gamma}$$

$$RC = BC \sin \alpha = AC \sin \beta$$

- Da RC ricaviamo le coordinate

Triangolazione



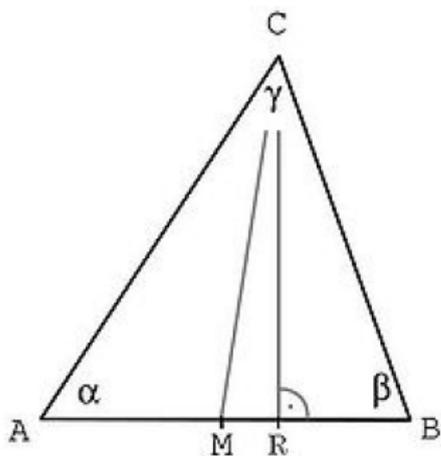
- La distanza AB è nota
- Possiamo facilmente calcolare:

$$AC = \frac{AB \sin \beta}{\sin \gamma} \text{ e } BC = \frac{AB \sin \alpha}{\sin \gamma}$$

$$RC = BC \sin \alpha = AC \sin \beta$$

- Da RC ricaviamo le coordinate

Triangolazione



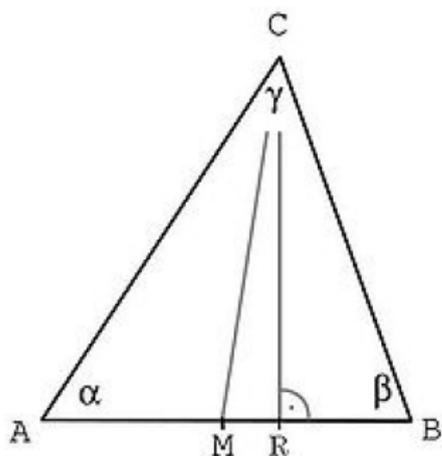
- La distanza AB è nota
- Possiamo facilmente calcolare:

$$AC = \frac{AB \sin \beta}{\sin \gamma} \text{ e } BC = \frac{AB \sin \alpha}{\sin \gamma}$$

$$RC = BC \sin \alpha = AC \sin \beta$$

- Da RC ricaviamo le coordinate

Triangolazione



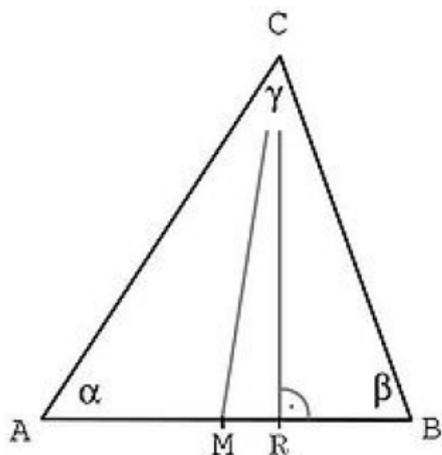
- La distanza AB è nota
- Possiamo facilmente calcolare:

$$AC = \frac{AB \sin \beta}{\sin \gamma} \text{ e } BC = \frac{AB \sin \alpha}{\sin \gamma}$$

$$RC = BC \sin \alpha = AC \sin \beta$$

- Da RC ricaviamo le coordinate

Triangolazione



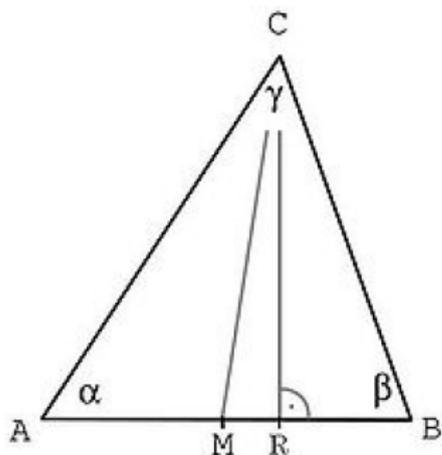
- La distanza AB è nota
- Possiamo facilmente calcolare:

$$AC = \frac{AB \sin \beta}{\sin \gamma} \text{ e } BC = \frac{AB \sin \alpha}{\sin \gamma}$$

$$RC = BC \sin \alpha = AC \sin \beta$$

- Da RC ricaviamo le coordinate

Triangolazione



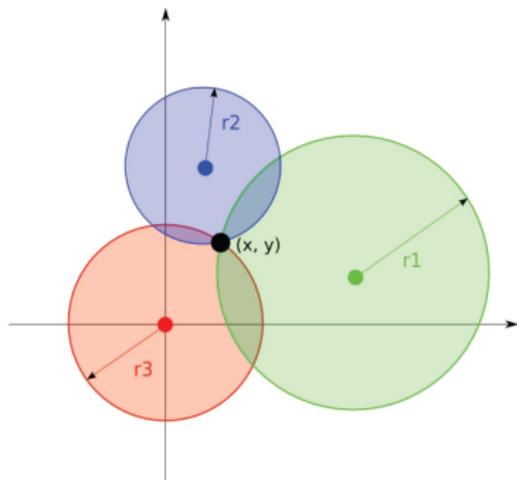
- La distanza AB è nota
- Possiamo facilmente calcolare:

$$AC = \frac{AB \sin \beta}{\sin \gamma} \text{ e } BC = \frac{AB \sin \alpha}{\sin \gamma}$$

$$RC = BC \sin \alpha = AC \sin \beta$$

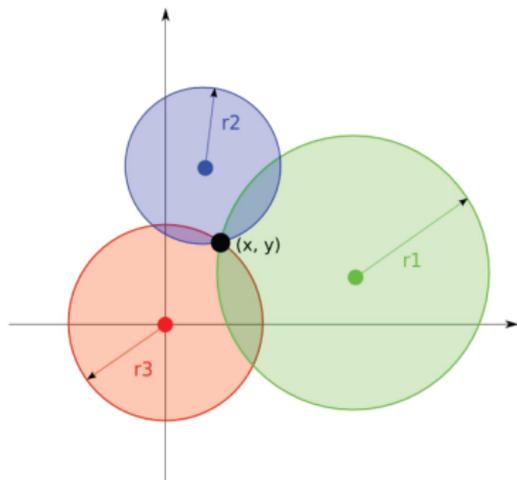
- Da RC ricaviamo le coordinate

Trilaterazione



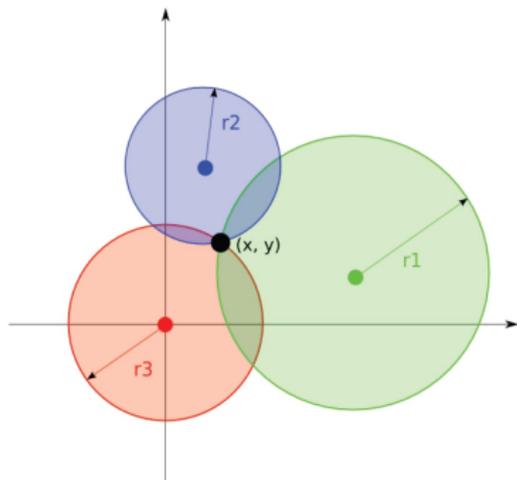
- Più complesso ma più efficiente del Min-Max
- I centri dei cerchi sono le coordinate delle ancore
- Il raggio è la distanza stimata
- I nodo target si trova nell'intersezione tra i cerchi

Trilaterazione



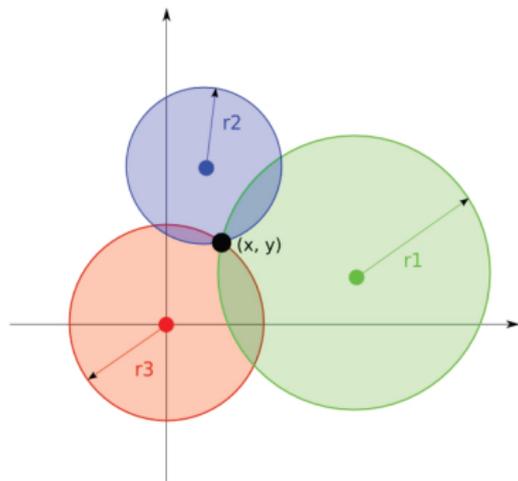
- Più complesso ma più efficiente del Min-Max
- I centri dei cerchi sono le coordinate delle ancore
- Il raggio è la distanza stimata
- I nodo target si trova nell'intersezione tra i cerchi

Trilaterazione



- Più complesso ma più efficiente del Min-Max
- I centri dei cerchi sono le coordinate delle ancore
- Il raggio è la distanza stimata
- I nodo target si trova nell'intersezione tra i cerchi

Trilaterazione



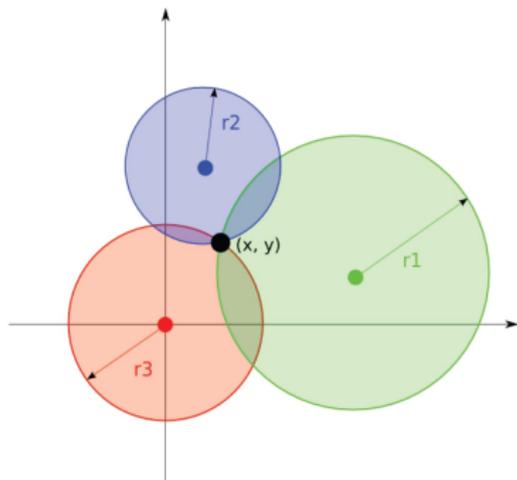
- Equazione della circonferenza (x_i, y_i) centro, r_i raggio:

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = r_i^2$$

- L'intersezione è:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = r_2^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = r_3^2 \end{cases}$$

Trilaterazione



- Equazione della circonferenza (x_i, y_i) centro, r_i raggio:

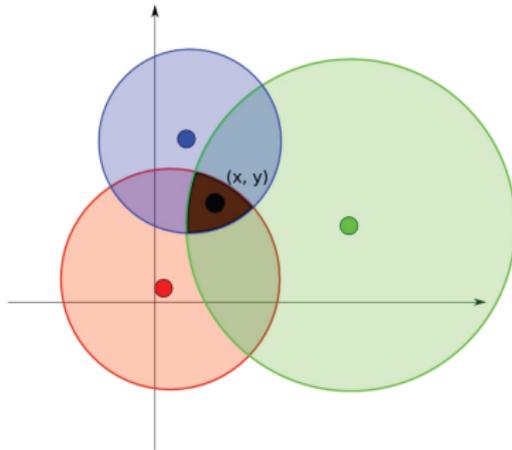
$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = r_i^2$$

- L'intersezione è:

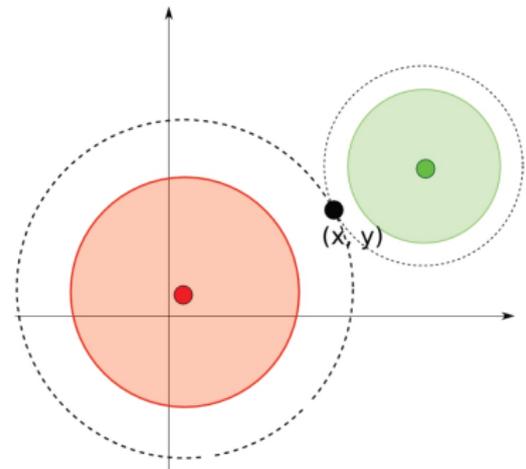
$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = r_2^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = r_3^2 \end{cases}$$

Trilaterazione - Altri casi

Punto di intersezione non unico

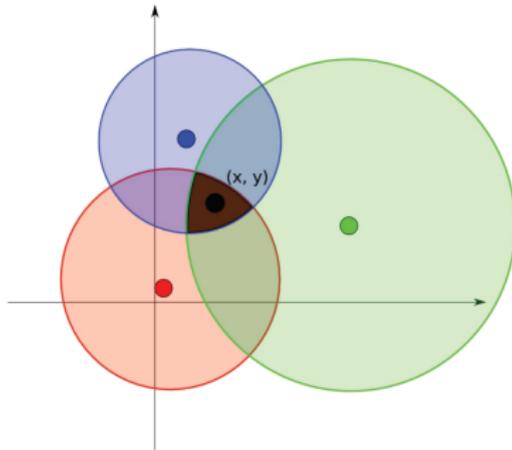


Nessun punto di intersezione

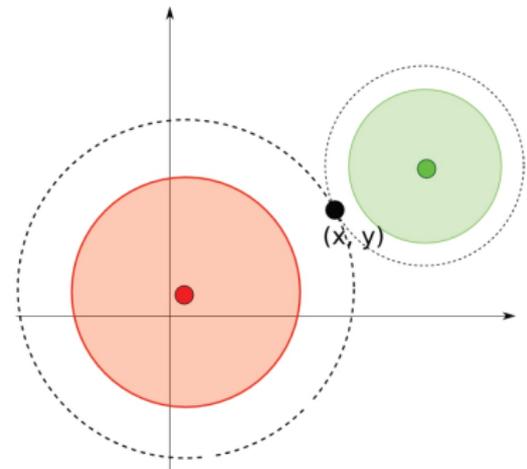


Trilaterazione - Altri casi

Punto di intersezione non unico

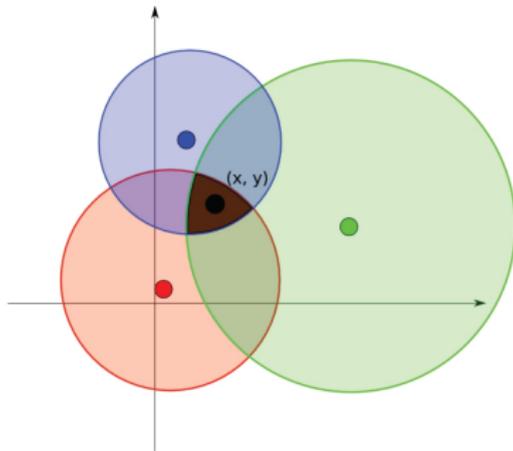


Nessun punto di intersezione

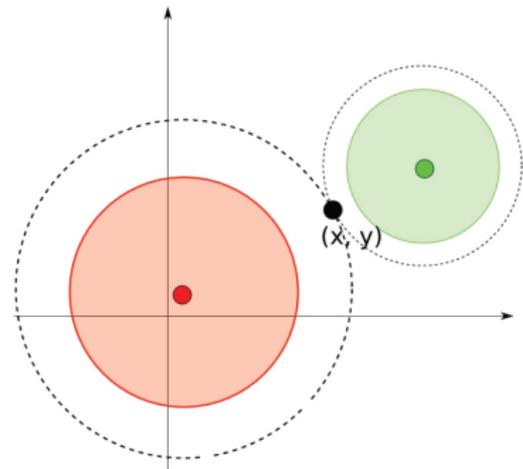


Trilaterazione - Altri casi

Punto di intersezione non unico

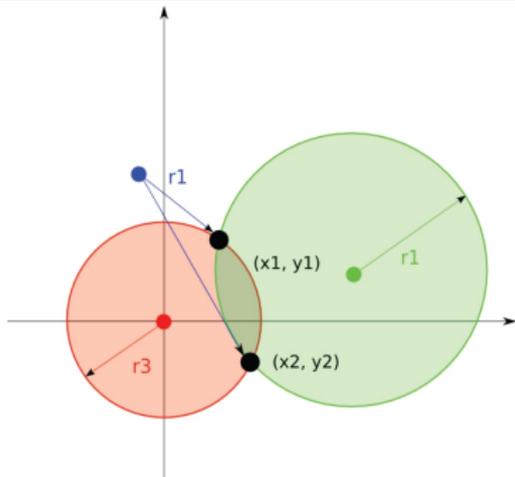


Nessun punto di intersezione



Trilaterazione - Altri casi

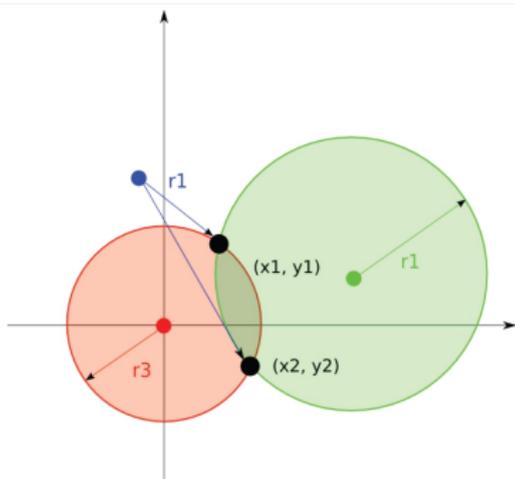
Due punti di intersezione



- Disegnano solo due cerchi
- Se il punto è unico OK
- Se non si toccano aumentiamo i raggi in modo proporzionale
- Se ci sono due punti prendiamo quello a distanza minore dalla terza ancora
- Iteriamo per tutti e tre i nodi e calcoliamo la media delle coordinate della posizione stimata

Trilaterazione - Altri casi

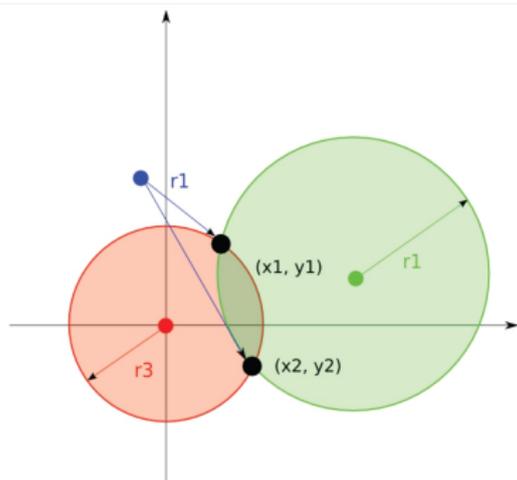
Due punti di intersezione



- Disegnano solo due cerchi
- Se il punto è unico OK
- Se non si toccano aumentiamo i raggi in modo proporzionale
- Se ci sono due punti prendiamo quello a distanza minore dalla terza ancora
- Iteriamo per tutti e tre i nodi e calcoliamo la media delle coordinate della posizione stimata

Trilaterazione - Altri casi

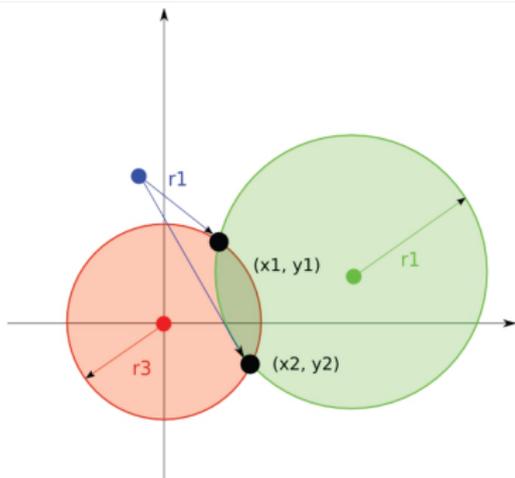
Due punti di intersezione



- Disegnano solo due cerchi
- Se il punto è unico OK
- Se non si toccano aumentiamo i raggi in modo proporzionale
- Se ci sono due punti prendiamo quello a distanza minore dalla terza ancora
- Iteriamo per tutti e tre i nodi e calcoliamo la media delle coordinate della posizione stimata

Trilaterazione - Altri casi

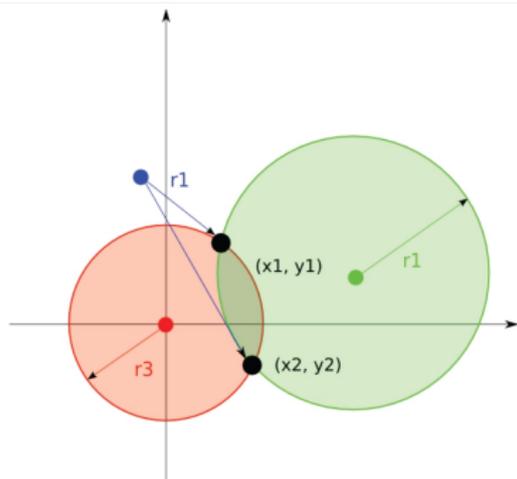
Due punti di intersezione



- Disegnano solo due cerchi
- Se il punto è unico OK
- Se non si toccano aumentiamo i raggi in modo proporzionale
- Se ci sono due punti prendiamo quello a distanza minore dalla terza ancora
- Iteriamo per tutti e tre i nodi e calcoliamo la media delle coordinate della posizione stimata

Trilaterazione - Altri casi

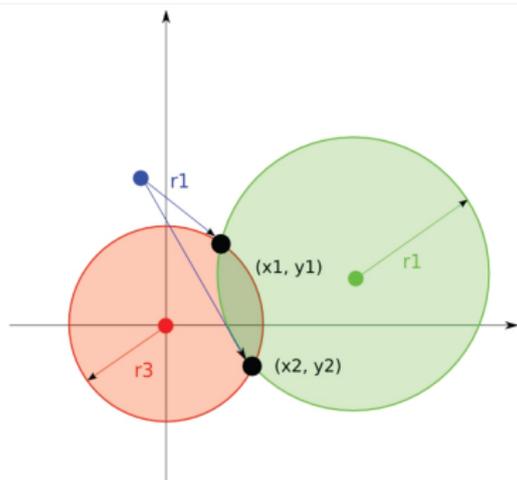
Due punti di intersezione



- Disegnano solo due cerchi
- Se il punto è unico OK
- Se non si toccano aumentiamo i raggi in modo proporzionale
- Se ci sono due punti prendiamo quello a distanza minore dalla terza ancora
- Iteriamo per tutti e tre i nodi e calcoliamo la media delle coordinate della posizione stimata

Trilaterazione - Altri casi

Due punti di intersezione



- Disegnano solo due cerchi
- Se il punto è unico OK
- Se non si toccano aumentiamo i raggi in modo proporzionale
- Se ci sono due punti prendiamo quello a distanza minore dalla terza ancora
- Iteriamo per tutti e tre i nodi e calcoliamo la media delle coordinate della posizione stimata

Multilaterazione

- Caso generale della trilaterazione con distanze rispetto ad n punti
- Utile perchè le misura di distanza sono soggette a errori e teniamo conto di tutti i punti di riferimento

Multilaterazione

- Caso generale della trilaterazione con distanze rispetto ad n punti
- Utile perchè le misura di distanza sono soggette a errori e teniamo conto di tutti i punti di riferimento

Multilaterazione

- Calcolo applicato ad un singolo punto
- Il nodo deve essere vicino ad almeno tre nodi
- Il sistema di equazioni diventa:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = r_2^2 \\ \vdots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 = r_n^2 \end{cases}$$

Multilaterazione

- Calcolo applicato ad un singolo punto
- Il nodo deve essere vicino ad almeno tre nodi
- Il sistema di equazioni diventa:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = r_2^2 \\ \vdots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 = r_n^2 \end{cases}$$

Multilaterazione

- Calcolo applicato ad un singolo punto
- Il nodo deve essere vicino ad almeno tre nodi
- Il sistema di equazioni diventa:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = r_2^2 \\ \vdots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 = r_n^2 \end{cases}$$

Multilaterazione

- Calcolo applicato ad un singolo punto
- Il nodo deve essere vicino ad almeno tre nodi
- Il sistema di equazioni diventa:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = r_2^2 \\ \vdots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 = r_n^2 \end{cases}$$

Multilaterazione atomica

- Risolviamo il sistema in forma $Ax = b$

$$x = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot b$$

- Stessi casi della Trilaterazione
- Valutiamo la soluzione con il *residuo* tra le distanze r_i e le distanze dalla posizione stimata (x_m, y_m)

$$\text{residuo} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2} - r_i}{n}$$

- Se il residuo è la misura è soggetta a forti errori e conviene ripeterla

Multilaterazione atomica

- Risolviamo il sistema in forma $Ax = b$

$$x = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot b$$

- Stessi casi della Trilaterazione
- Valutiamo la soluzione con il *residuo* tra le distanze r_i e le distanze dalla posizione stimata (x_m, y_m)

$$\text{residuo} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2} - r_i}{n}$$

- Se il residuo è la misura è soggetta a forti errori e conviene ripeterla

Multilaterazione atomica

- Risolviamo il sistema in forma $Ax = b$

$$x = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot b$$

- Stessi casi della Trilaterazione
- Valutiamo la soluzione con il *residuo* tra le distanze r_i e le distanze dalla posizione stimata (x_m, y_m)

$$\text{residuo} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2} - r_i}{n}$$

- Se il residuo è la misura è soggetta a forti errori e conviene ripeterla

Multilaterazione atomica

- Risolviamo il sistema in forma $Ax = b$

$$x = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot b$$

- Stessi casi della Trilaterazione
- Valutiamo la soluzione con il *residuo* tra le distanze r_i e le distanze dalla posizione stimata (x_m, y_m)

$$residuo = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2} - r_i}{n}$$

- Se il residuo è la misura è soggetta a forti errori e conviene ripeterla

Multilaterazione atomica

- Risolviamo il sistema in forma $Ax = b$

$$x = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot b$$

- Stessi casi della Trilaterazione
- Valutiamo la soluzione con il *residuo* tra le distanze r_i e le distanze dalla posizione stimata (x_m, y_m)

$$\text{residuo} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2} - r_i}{n}$$

- Se il residuo è la misura è soggetta a forti errori e conviene ripeterla

Multilaterazione atomica

- Risolviamo il sistema in forma $Ax = b$

$$x = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot b$$

- Stessi casi della Trilaterazione
- Valutiamo la soluzione con il *residuo* tra le distanze r_i e le distanze dalla posizione stimata (x_m, y_m)

$$residuo = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2} - r_i}{n}$$

- Se il residuo è la misura è soggetta a forti errori e conviene ripeterla

Conclusioni

- La problematica della localizzazione è soggetta a numerosi studi e sperimentazioni
- Miglioramento delle tecniche (ranging)
- Applicazioni delle WSN dotate di sistema di localizzazione

Conclusioni

- La problematica della localizzazione è soggetta a numerosi studi e sperimentazioni
- Miglioramento delle tecniche (ranging)
- Applicazioni delle WSN dotate di sistema di localizzazione

Conclusioni

- La problematica della localizzazione è soggetta a numerosi studi e sperimentazioni
- Miglioramento delle tecniche (ranging)
- Applicazioni delle WSN dotate di sistema di localizzazione

Per ulteriori letture I



Marco Risi

Confronto di tecniche di localizzazione per le WSN basate su RSSI

Tesi di laurea, 2009.



Alberto Realis-Luc

Localizzazione in reti di sensori ZigBee

Tesi di laurea, 2009.



Paolo sperandio

Algoritmi di localizzazione per reti di sensori wireless

Tesi di laurea, 2007.

Per ulteriori letture II



Cuccado, De Franceschi, Fauri, Sartor

Analisi di algoritmi di autolocalizzazione per reti di sensori wireless

Tesi di laurea, 2011.