Indoor positioning met Arduino's

Bram Leenders & Patrick van Looy

1 juli 2014

1 Inleiding

Voor veel toepassingen van draadloze sensornetwerken is het weten van de locatie van de sensoren erg nuttig of zelfs noodzakelijk. Een voorbeeld hiervan is een sensornetwerk in het bos, bedoeld om bosbranden te detecteren. Voor geografisch grote netwerken is het een handige toevoeging als een node niet alleen detecteert dat er brand is, maar ook waar deze brand is. Op deze manier kan de brand doelgericht en snel bestreden worden, omdat er meer informatie over bekend is.

Locatiebepaling kan op verschillende manieren gedaan worden, een bekend voorbeeld hiervan is GPS. Dit onderzoek legt de focus op locatiebepaling door middel van hoogfrequent geluid. Het doel van dit onderzoek is om de locatie van een Arduino met een ultrasoon-ontvanger te bepalen ten opzichte van vier ultrasoon-verzenders die zich op bekende posities bevinden en afwisselend een geluidspuls versturen. Hiervoor moet een lokalisatiealgoritmeontwikkeld worden dat gebruik maakt van de signalen die verzonden worden door deze vier bakens.

Allereerst zullen we een probleemstelling formuleren zodat we een uitgangspunt voor onze tests hebben, dit doen we in sectie 2. In sectie 3 worden drie mogelijke manieren van afstandbepaling toegelicht. Daarnaast wordt in sectie 4 de implementatie beschreven. Vervolgens behandelen we in sectie 5 de resultaten die we door middel van onze tests hebben gekregen. Als laatste trekken we hieruit een conclusie in sectie 6.

2 Probleemstelling

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een systeem dat positiebepaling op korte afstand kan doen. Met korte afstand wordt een afstand in de orde van 20 meter tot de zenders bedoeld. Hierbij kan gedacht worden aan positiebepaling in een huis of (fabrieks) hal, maar niet aan GPS-achterige applicaties waar wereldwijde of landelijke dekking vereist is.

3 Gerelateerd werk

Er zijn verschillende manier om met behulp van radio en/of geluidssignalen een afstand te meten, we zullen de volgende drie kort toelichten:

- Received Signal Strength Indication (RSSI)

- Time Difference of Arrival (TDOA)
- Time of Flight (TOF)

Deze drie zijn met de beschikbare hardware (Arduino, RF24 chip en microfoon) implementeerbaar, dus er moet een keuze uit deze drie gemaakt worden.

3.1 Received Signal Strength Indication

Bij RSSI wordt de sterkte van het signaal gebruikt om een schatting te maken van de afstand tussen een zender en een ontvanger. Deze methode heeft een aantal nadelen, zoals beschreven door Seshadi et al. [4]. De belangrijkste nadelen zijn de wisselende signaalsterkte, kosten van meet- en zendapparatuur en verstoringen van objecten tussen zender en ontvanger. Vanwege deze redenen hebben we niet voor RSSI als methode gekozen.

3.2 Time Difference of Arrival

Bij TDOA wordt gebruik gemaakt van het verschil in afstand tussen twee zenders. Als twee zenders tegelijkertijd een signaal uitzenden, kan een ontvanger een mogelijk verschil in ontvangsttijd meten. Dit verschil in ontvangsttijd kan dan omgezet worden naar een verschil in afstand tussen de twee zenders. Deze methode wordt verder uitgewerkt door Gustaffson et al. [2].

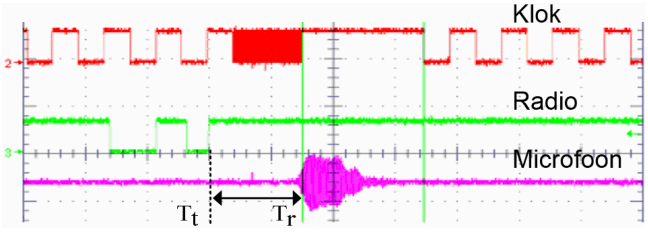
In dit onderzoek kan TDOA niet worden gebruikt, maar hier is niet voor gekozen omdat het bijhouden van het verschil tussen ontvangsttijden op de ontvanger (in dit geval een Arduino) niet erg nauwkeurig is. Om dit algoritme goed uitvoerbaar te laten zijn dienen eigenlijk de beacons als ontvangers gebruikt worden, en de te positioneren Arduino als zender. Echter, gegeven de opstelling die in dit onderzoek gebruikt wordt kunnen de beacons alleen als zenders gebruikt worden.

3.3 Time of Flight

Voor het onderzoek van deze paper is de time of flight (TOF) gebruikt om de afstand tussen beacons en de ontvanger te meten. Deze methode maakt ook gebruik van het verschil in ontvangsttijd van twee signalen. Echter, niet tussen signalen van twee nodes, maar tussen twee types signalen: radio en geluidssignalen.

TOF maakt gebruik van het verschil in propagatiesnelheid van licht en geluid; radiosignalen gaan met lichtsnelheid (ca. $3 \cdot 10^8$m/s), maar geluid gaat veel langzamer (ca 340 m/s). Door beacons tegelijkertijd een radio- en een geluidssignaal uit te laten zenden kan met behulp van het verschil in ontvangsttijden de afstand tussen het beacon en een ontvanger berekend worden. Deze techniek wordt beschreven door Barshan en Ballur [1].

Figuur 1 geeft een voorbeeld van inkomende signalen bij een dergelijke aanpak.



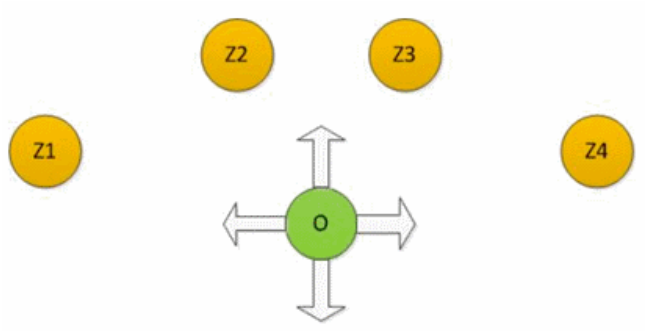
Figuur 1: Tijdsdiagram radio en microfoon input. *Bron: [3]*

4 Implementatie

De implementatie gebruikt de time of flight (TOF) om de afstand tussen beacons en de ontvanger te meten.

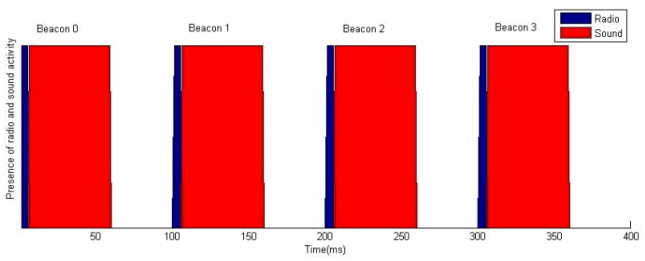
4.1 Opstelling voor positiebepaling met hoogfrequent geluid

De opstelling voor het bepalen van de positie bestaat uit vier bakens, die zijn genummerd van 0 tot 3. Elk baken bestaat uit een Arduino mini met daarop aangesloten een NRF2401L+-radio en een ultrasoon-zender. De bakens zijn bevestigd op een statief. De locaties van de bakens is bekend. Een voorbeeld van een opstelling met de vier bakens en een ontvanger is te zien in afbeelding 2.



Figuur 2: Opstelling met vier zenders en een ontvanger.

De activiteiten van de verschillende bakens zijn als volgt: een van de bakens (Baken 0) verstuurt radioberichten met een interval van 100 ms. Dit bericht bestaat uit een uint8 (een getal tussen 0 en 255) waarin het nummer staat van de baken die aan de beurt is voor het versturen van een geluidspuls. (Baken 0 stuurt ook een bericht als baken 0 zelf aan de beurt is.) Als een baken een bericht ontvangt waarin zijn identicatienummer staat, verstuurt deze direct hierna een geluidspuls op een frequentie van circa 40kHz en met een duur van 50 ms. De bakens zijn dus nooit tegelijkertijd actief. Figuur 3 toont de sequentie van activiteiten van de verschillende bakens. Verder zijn in tabel 1 de verschillende instellingen te zien waarop de radios onderling communiceren.



Figuur 3: Opstelling met vier zenders en een ontvanger.

Kanaal	76 (standaard RF24 instelling)
Automatisch herverzenden	Uit
Transmissiesnelheid	2 Mbps
Adres verzendende pipe	0xdeadbeefa1LL
Payload-grootte	1 byte

Tabel 1: Instellingen radio

4.2 Algoritme

Voor het omzetten van de afstanden tussen de ontvanger en de verschillende beacons zijn de berekeningen van Park et al. [3] gebruikt. Doordat de afstanden tot de beacons bekend zijn kan een cirkel worden afgeleid waarop de ontvanger zich bevindt. Doordat meerdere cirkels bekend zijn kan de intersectie van die verschillende cirkels berekend worden: deze intersectie is de locatie van de ontvanger.

Er is gekozen voor deze berekening omdat de locaties van de beacons en de afstanden tot de beacons vrij intuitief als matrices gerepresenteerd worden. Als kanttekening moet vermeld worden dat dit algoritme niet alleen de x en y positie berekent, maar ook de z positie probeert te berekenen. Echter, omdat alle beacons op dezelfde hoogte staan is dit met onze opstelling niet mogelijk geweest. Er is immers niet te achterhalen of de z positie positief of negatief is; doordat alle beacons in een vlak staan kan de zcoördinaat gespiegeld worden. Vanwege deze reden hebben we ervoor gekozen om de z-coördinaat niet in de resultaten op te nemen.

De gebruikte code is bijgevoegd in appendix A. Merk op dat de posities van de beacons hardcoded is; deze kan worden aangepast indien de beacons een andere configuratie hebben. De positie van de ontvanger is relatief ten opzichte van de beacons.

Tijdens de tests is de lijn tussen beacon 1 en 2 als y-as gebruikt, en beacon 0 was op de x-as (die onder een hoek van 90 graden de y-as kruist). Het algoritme ondersteunt ook negatieve waardes voor als de ontvanger zich achter de y-as bevindt.

5 Resultaten en discussie

bla

Na de implementatie is er gelijk getest of het ook daadwerkelijk functioneerde. In eerste instantie was dit zeker niet het geval, er kwamen allerlei rare waardes binnen. Na verder onderzoek bleek dat dit veroorzaakt werd door een buffer overflow. De Arduino heeft niet zo veel geheugen tot zijn beschikking en aangezien ons algoritme eerst met veel verschillende matrices werkte, koste enorm veel opslagruimte. Hierdoor werd data in de buffer overschreven waardoor er onjuiste waardes ontstonden.

Toen vervolgens het aantal matrices teruggedrongen was naar twee, werkte het beter. Na het nauwkeurig afstellen en finetunen van het algoritme waren de metingen tot ongeveer vijf centimeter nauwkeurig. Veel beter is nauwelijks haalbaar met de gebruikte hardware.

6 Conclusie

bla

Referenties

[1] Billur Barshan. Fast processing techniques for accurate ultrasonic range measurements. *Measurement Science and technology*, 11(1):45, 2000.

[2] Fredrik Gustafsson and Fredrik Gunnarsson. Positioning using time-difference of arrival measurements. In *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2003. Proceedings.(ICASSP'03). 2003 IEEE International Conference on*, volume 6, pages VI–553. IEEE, 2003.

[3] Jaehyun Park, Sunghee Choi, and Jangmyung Lee. Beacon scheduling algorithm for localization of a mobile robot. In *Intelligent Robotics and Applications*, pages 594–603. Springer, 2011.

[4] Vinay Seshadri, Gergely V Zaruba, and Manfred Huber. A bayesian sampling approach to in-door localization of wireless devices using received signal strength indication. In *Pervasive Computing and Communications, 2005. PerCom 2005. Third IEEE International Conference on*, pages 75–84. IEEE, 2005.

A Arduino code

```
/*
    Positioning system for Arduino One with RF24 radio chip
*/
#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
#include "printf.h"
#include "MatrixMath.h"

#define N (3)
// Kunstmatige waarde voor Z coordinaten
#define Z 1.0
// Percentage verschil (0 < MAX_DIFF <= 1) dat tussen twee
    metingen mag zitten.
#define MAX_DIFF (0.25)
// Percentage dat de nieuwste meting in het gemiddelde meetelt (0
    < WEIGHT <= 1)
// Bij WEIGHT=1 wordt er geen gemiddelde bijgehouden, maar is de
    nieuwste meting de enige die meetelt.
#define WEIGHT (0.2)

RF24 radio(3, 9);
unsigned long radiotime;
unsigned long audiotime;
unsigned long timelimit = 50000LL;
uint8_t activeBeacon;

float pos[4][2] = { // Positions van de beacons; pos[1][1] is de y
    positie van beacon 1
    {0.0, 75.0},
    {72.0, 0.0},
    {294.0, 0.0},
    {372.0, 136.0}
};

float D[4];


void setup() {
  // initialize the serial communication:
  Serial.begin(9600);
  printf_begin();

  // Setup and configure rf radio
  radio.begin();
  radio.setRetries(0,0);

  radio.setDataRate(RF24_2MBPS);
  radio.setChannel(76);
  radio.setPayloadSize(1);
  radio.openReadingPipe(1, 0xdeadbeefa1LL);
  radio.openWritingPipe(0xdeadbeefa1LL);
  radio.startListening();
  radio.setAutoAck(false);
}

void loop() {
  while(radio.available()) {
    radio.read(&activeBeacon, sizeof(uint8_t));
  }
```

```
  while (! radio.available());

  radiotime = micros();
  radio.read( &activeBeacon, sizeof(uint8_t));

  if(activeBeacon > 3) { return; }

  while(analogRead(A0) < 50) {
    audiotime = micros();
    if(audiotime - radiotime > timelimit) {
      return;
    }
  }

  float diff = audiotime - radiotime;
  diff = diff * 0.03432; // Afstand tot beacon in cm

  //Zwak uitschieters een beetje af: max 30% increase
  if(diff > (D[activeBeacon]* (1.0 + MAX_DIFF)) && D[activeBeacon]
      > 0) {
    diff = D[activeBeacon] * (1.0 + MAX_DIFF);
  }

  if(diff < (D[activeBeacon]* (1.0 - MAX_DIFF))) {
    diff = D[activeBeacon]*(1.0 - MAX_DIFF);
  }

  D[activeBeacon] = D[activeBeacon]*(1.0 - WEIGHT) + diff*WEIGHT;
      // Weer schuivend gemiddelde */
  //D[activeBeacon] = diff;

  if(activeBeacon == 3) {
    calcPosition();
  }
}

float A[N][N];
float B[N];

void calcPosition() {
    // Relatieve afstanden tussen de nodes; gebruikt node 3 nog
        niet!
    A[0][0] = 2*pos[1][0] - 2*pos[0][0]; A[0][1] = 2*pos[1][1] -
        2*pos[0][1]; A[0][2] = Z;
    A[1][0] = 2*pos[2][0] - 2*pos[1][0]; A[1][1] = 2*pos[2][1] -
        2*pos[1][1]; A[1][2] = Z;
    A[2][0] = 2*pos[0][0] - 2*pos[2][0]; A[2][1] = 2*pos[0][1] -
        2*pos[2][1]; A[2][2] = Z;
    Matrix.Invert((float*)A,N);

    B[0] = (D[0]*D[0]) - (D[1]*D[1]) - (pos[0][0]*pos[0][0]) +
        (pos[1][0]*pos[1][0]) - (pos[0][1]*pos[0][1]) +
        (pos[1][1]*pos[1][1]);
    B[1] = (D[1]*D[1]) - (D[2]*D[2]) - (pos[1][0]*pos[1][0]) +
        (pos[2][0]*pos[2][0]) - (pos[1][1]*pos[1][1]) +
        (pos[2][1]*pos[2][1]);
    B[2] = (D[2]*D[2]) - (D[0]*D[0]) - (pos[2][0]*pos[2][0]) +
        (pos[0][0]*pos[0][0]) - (pos[2][1]*pos[2][1]) +
        (pos[0][1]*pos[0][1]);

    float P3[N];
    Matrix.Multiply((float*)A,(float*)B,N,N,1,(float*)P3);
```

```
printf("Position (P3): (%d,%d)\n", (int) P3[0], (int) P3[1]);


// Relatieve afstanden tussen de nodes; gebruikt node 2 nog
    niet!
A[0][0] = 2*pos[1][0] - 2*pos[0][0]; A[0][1] = 2*pos[1][1] -
    2*pos[0][1]; A[0][2] = Z;
A[1][0] = 2*pos[3][0] - 2*pos[1][0]; A[1][1] = 2*pos[3][1] -
    2*pos[1][1]; A[1][2] = Z;
A[2][0] = 2*pos[0][0] - 2*pos[3][0]; A[2][1] = 2*pos[0][1] -
    2*pos[3][1]; A[2][2] = Z;
Matrix.Invert((float*)A,N);

B[0] = (D[0]*D[0]) - (D[1]*D[1]) - (pos[0][0]*pos[0][0]) +
    (pos[1][0]*pos[1][0]) - (pos[0][1]*pos[0][1]) +
    (pos[1][1]*pos[1][1]);
B[1] = (D[1]*D[1]) - (D[3]*D[3]) - (pos[1][0]*pos[1][0]) +
    (pos[3][0]*pos[3][0]) - (pos[1][1]*pos[1][1]) +
    (pos[3][1]*pos[3][1]);
B[2] = (D[3]*D[3]) - (D[0]*D[0]) - (pos[3][0]*pos[3][0]) +
    (pos[0][0]*pos[0][0]) - (pos[3][1]*pos[3][1]) +
    (pos[0][1]*pos[0][1]);
float P2[N];
Matrix.Multiply((float*)A,(float*)B,N,N,1,(float*)P2);
printf("Position (P2): (%d,%d)\n", (int) P2[0], (int) P2[1]);


// Relatieve afstanden tussen de nodes; gebruikt node 1 nog
    niet!
A[0][0] = 2*pos[2][0] - 2*pos[0][0]; A[0][1] = 2*pos[2][1] -
    2*pos[0][1]; A[0][2] = Z;
A[1][0] = 2*pos[3][0] - 2*pos[2][0]; A[1][1] = 2*pos[3][1] -
    2*pos[2][1]; A[1][2] = Z;
A[2][0] = 2*pos[0][0] - 2*pos[3][0]; A[2][1] = 2*pos[0][1] -
    2*pos[3][1]; A[2][2] = Z;
Matrix.Invert((float*)A,N);

B[0] = (D[0]*D[0]) - (D[2]*D[2]) - (pos[0][0]*pos[0][0]) +
    (pos[2][0]*pos[2][0]) - (pos[0][1]*pos[0][1]) +
    (pos[2][1]*pos[2][1]);
B[1] = (D[2]*D[2]) - (D[3]*D[3]) - (pos[2][0]*pos[2][0]) +
    (pos[3][0]*pos[3][0]) - (pos[2][1]*pos[2][1]) +
    (pos[3][1]*pos[3][1]);
B[2] = (D[3]*D[3]) - (D[0]*D[0]) - (pos[3][0]*pos[3][0]) +
    (pos[0][0]*pos[0][0]) - (pos[3][1]*pos[3][1]) +
    (pos[0][1]*pos[0][1]);
float P1[N];
Matrix.Multiply((float*)A,(float*)B,N,N,1,(float*)P1);
printf("Position (P1): (%d,%d)\n", (int) P1[0], (int) P1[1]);


// Relatieve afstanden tussen de nodes; gebruikt node 0 nog
    niet!
A[0][0] = 2*pos[2][0] - 2*pos[1][0]; A[0][1] = 2*pos[2][1] -
    2*pos[1][1]; A[0][2] = Z;
A[1][0] = 2*pos[3][0] - 2*pos[2][0]; A[1][1] = 2*pos[3][1] -
    2*pos[2][1]; A[1][2] = Z;
A[2][0] = 2*pos[1][0] - 2*pos[3][0]; A[2][1] = 2*pos[1][1] -
    2*pos[3][1]; A[2][2] = Z;
Matrix.Invert((float*)A,N);

B[0] = (D[1]*D[1]) - (D[2]*D[2]) - (pos[1][0]*pos[1][0]) +
```

```
            (pos[2][0]*pos[2][0]) - (pos[1][1]*pos[1][1]) +
            (pos[2][1]*pos[2][1]);
        B[1] = (D[2]*D[2]) - (D[3]*D[3]) - (pos[2][0]*pos[2][0]) +
            (pos[3][0]*pos[3][0]) - (pos[2][1]*pos[2][1]) +
            (pos[3][1]*pos[3][1]);
        B[2] = (D[3]*D[3]) - (D[1]*D[1]) - (pos[3][0]*pos[3][0]) +
            (pos[1][0]*pos[1][0]) - (pos[3][1]*pos[3][1]) +
            (pos[1][1]*pos[1][1]);
        float P0[N];
        Matrix.Multiply((float*)A,(float*)B,N,N,1,(float*)P0);
        printf("Position (P0): (%d,%d)\n", (int) P0[0], (int) P0[1]);

        // Bereken het gemiddelde van de verschillende metingen:
        int avg[N];
        avg[0] = (int) (P0[0] + P1[0] + P2[0] + P3[0]) / 4.0;
        avg[1] = (int) (P0[1] + P1[1] + P2[1] + P3[1]) / 4.0;
        avg[2] = (int) (P0[2] + P1[2] + P2[2] + P3[2]) / 4.0;

        printf("Position: (%d,%d)\n\n", avg[0], avg[1]);
}
```