



een Zwitsers zakmes

deel 2: de hard- en software

Gilles Brocard (Frankrijk)

Nadat we in het eerste deel het LoRa-protocol hebben behandeld, gaan we nu in op de details van de bouw van een LoRa-zender/ontvanger met behulp van een kleine kant-en-klare module. Aangestuurd door een Arduino Nano en een programma dat volledig gewijd is aan LoRa-configuratie en zenden/ontvangen, is het resultaat een echt Zwitsers LoRa-zakmes.

De kleine print die we hier beschrijven, bestaat uit een LoRa-module, een Arduino Nano-board, een 5V-regelaar, enkele LED's en printkroonstenen om sensoren (elk type), regelaars en een OLED I²C-display of extra LED's eenvoudig aan te sluiten. Het geheel is erg flexibel, mede dankzij de software. Het is een echt Zwitsers LoRa-zakmes.

In het kort betreft het schema (**figuur 1**) vooral de verbindingen tussen de Arduino Nano en de E220-900M30S-module, met een spanningsregelaar en een LED die de aanwezigheid van +5 V bevestigt, en twee andere LED's als zend- (Tx) en ontvangstindicatie (Rx).

Andere componenten kunnen worden aangesloten via connector K2. Poorten A0 tot A5 zijn analoge ingangen of digitale I/O, afhankelijk van de configuratie. Daarnaast kunnen A4 en A5 worden geconfigureerd als I²C-bus om I²C-sensoren of zelfs een klein OLED-scherm van 128×64 pixels aan te sluiten. A6 en A7 zijn twee speciale analoge ingangen. De analoge ingangen van de Nano hebben een resolutie van 10 bit. De +5V-aansluiting kan zowel als ingang of als uitgang functioneren.

De DIO2-poort van de LoRa-module is verbonden met de Tx-ingang van de antenneschakelaar en met de gate van T1, die dienst doet als logische inverter. De drain stuurt de Rx-ingang van dezelfde antenneschakelaar aan.

LED1 (wit) is de zend-indicator (Tx). LED2 (groen) signaleert de ontvangst (Rx) van een geldig LoRa-sigitaal, echter zonder informatie over de inhoud. Bovendien activeert het programma poort A2 gedurende één seconde als het verwachte bericht wordt gedetecteerd. Dit maakt het heel eenvoudig om de assemblage te gebruiken als afstandsbediening met groot bereik.

Voeding

De ingangsspanning op K3 mag niet hoger zijn dan 24 V. Het is ook mogelijk om de print rechtstreeks met 5 V te voeden via K4. In beide gevallen moet de voeding maximaal 750 mA kunnen leveren.

Een koellichaam voor IC1 is optioneel, omdat in LoRa-modus de zend/slaap duty-cycle erg laag is (maximaal 1%) en de gemiddelde dissipatie erg laag blijft. In werkelijkheid kun je tot 35 V op de ingang zetten. Zelfs met 750 mA voor een uitgangssignaal van 30 dB is de dissipatie slechts ongeveer 0,25 W (ervan uitgaande dat de schakeling de rest van de tijd 'slaapt').

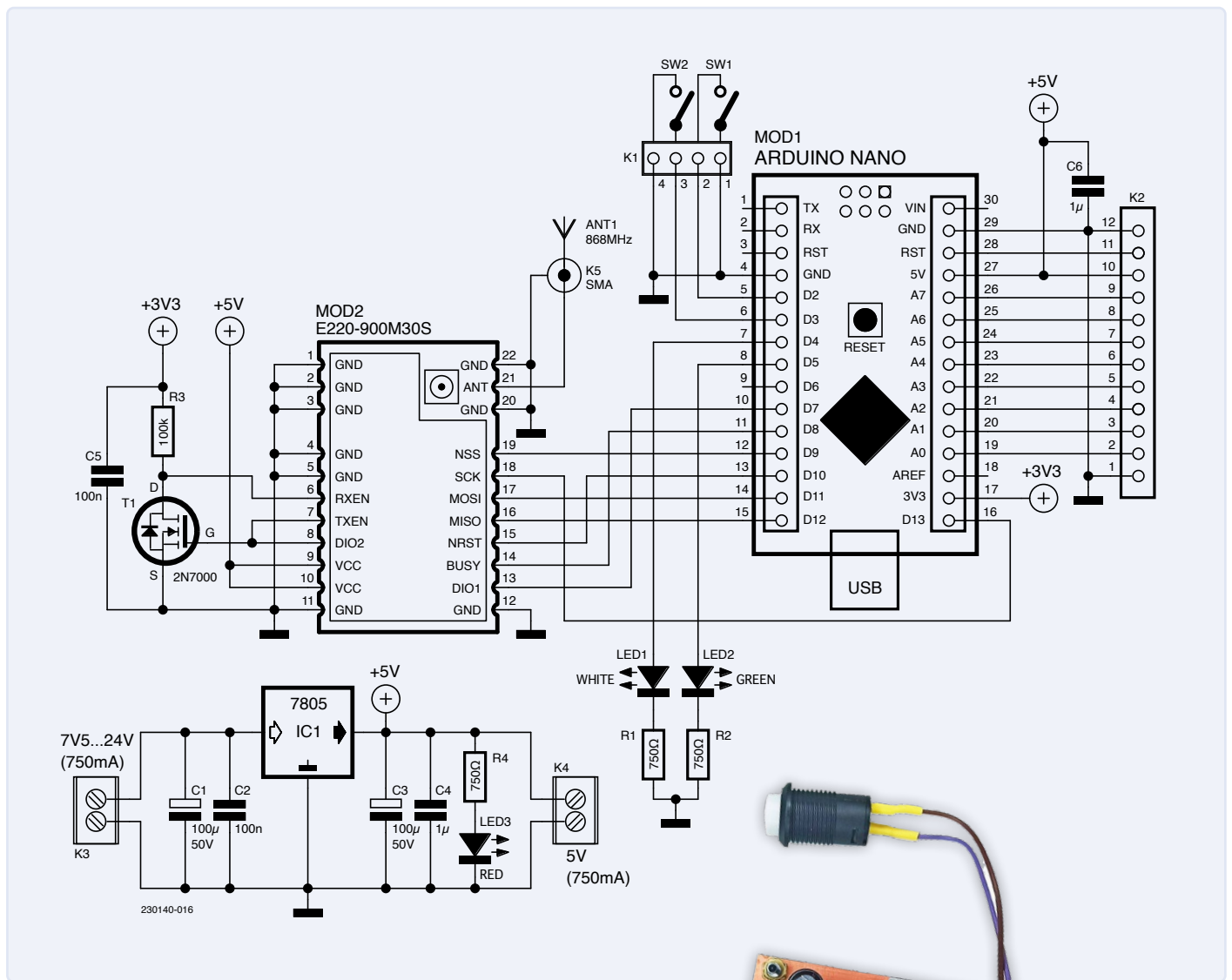
De print

De print (**figuur 2**) meet 87×50 mm en kan in de meeste soorten behuizingen worden gemonteerd (optioneel). De antenne-uitgang is gemaakt met een SMA-connector, perfect geschikt voor bijna-gigahertz-frequenties (dat is niet het geval met BNC).

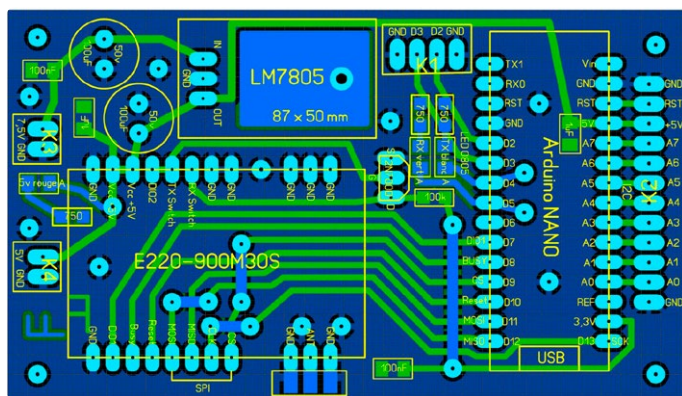
De bedrading is eenvoudig. De LED's, weerstanden en condensatoren van 100 nF en 1 µF zijn allemaal SMD 1206-types – gemakkelijk te solderen. De andere componenten zijn through-hole. Als je print geen doorgemetalliseerde gaten heeft (**figuur 3**), vergeet dan niet de straps, de verbindingen met het massavlak en die voor de aansluitingen van D4 en D5 tussen de beide zijden van de print.

Als je over lange afstanden wilt communiceren (10 km of meer), is het raadzaam om de schakeling in een waterdichte behuizing te monteren, direct onder de antenne die hoog gemonteerd moet worden (2 m boven de grond is optimaal) om HF-kabelverliezen te minimaliseren. Een andere oplossing is om de Arduino Nano te vervangen door een ESP32. In dit geval worden de berichten doorgestuurd via WiFi voordat ze worden verzonden via LoRa. De wijzigingen aan de sketch zijn gering; er is een aangepaste versie beschikbaar.

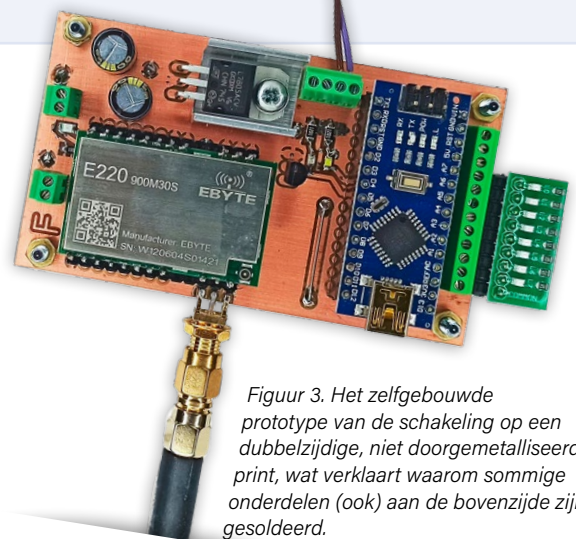
Een Tx/Rx-schakelaar kan worden aangesloten tussen de punten D2 en massa van connector K3. Hierdoor kan de bedieningsmodus op elk moment worden gewijzigd tussen zenden (open) en ontvangen (gesloten). Als de schakeling alleen in Rx-modus wordt gebruikt, moet je de contacten 1 en 2 van K1 overbruggen. Als je de schakeling in Tx-modus wilt houden, laat je de contacten open.



Figuur 1. Schema van ons Zwitsers LoRa-zakmes.



Figuur 2. De print-layout en broncodebestanden zijn beschikbaar op de projectpagina bij dit artikel [1].



Figuur 3. Het zelfgebouwde prototype van de schakeling op een dubbelzijdige, niet doorgemetalliseerde print, wat verklaart waarom sommige onderdelen (ook) aan de bovenzijde zijn gesoldeerd.

Het programma

Met de sketch [1] kun je de LoRa-configuratie eenvoudig aanpassen voor allerlei experimenten en pogingen tot LoRa-transmissie over lange afstanden. Hier kun je een record breken!

De software maakt ook hot-switchen tussen zenden (Tx) en ontvangen (Rx) mogelijk. Ook kunnen talloze analoge of digitale (I²C)-sensoren worden aangesloten. Zie het kader **Overzicht van het LLCC68-besturingsprogramma** om te zien hoe de sketch is opgebouwd.

LoRa-optimalisatie

De LLCC68 kan de zender informeren over de ontvangstkwaliteit van het signaal zodat deze de transmissieparameters (vermogen, SF, CR enzovoort) kan aanpassen. Dit is een van de methoden die door de LoRaWAN-laag worden gebruikt.

➤ De RSSI (received signal strength indicator) is het ontvangen signaalvermogen, die de ontvanger kan terugsturen naar de zender. Deze waarde kan worden gebruikt om de transmissieparameters aan te passen, door het zendvermogen te verhogen of te verlagen om de autonomie te maximaliseren met behoud van een voldoende zendniveau.

➤ De LLCC68 kan het minimale ontvangstniveau meten waarmee een signaal zonder fouten kan worden opgehaald. Deze waarde is zeer laag in het geval van de LLCC68; hij kan zo laag zijn als -129 dBm als functie van de gekozen parameters.

➤ De SNR (signaal/ruis-verhouding) is de verhouding tussen het vermogen van het ontvangen signaal en het omgevingsruisniveau dat de LLCC68 meet wanneer geen data worden ontvangen. In het geval van LoRa kan het ruisniveau aanzienlijk groter zijn dan het signaalniveau (negatieve SNR).

➤ De GetStats-instructie retourneert het totale aantal ontvangen packets, het

aantal ontvangen packets met fouten en het aantal ontvangen packets met headerfouten. De ResetStats-instructie reset alle statistieken.

Het lezen van de 106 pagina's tellende datasheet is niet per se nodig, maar is zeer nuttig om meer diepgaande informatie te verkrijgen over enkele van de onderwerpen die in dit artikel worden genoemd. We raden je ook aan om het opmerkelijke document te lezen dat is geschreven door de leraren van het Lycée Dorian [3] [opmerking: dit is in het Frans]. Het behandelt de fysieke LoRa-laag, maar ook die van LoRaWAN en LoRa-demodulatie, waarover Semtech geen informatie geeft.

De belangrijkste LoRa-configuratieparameters

Alle LoRa-configuratieparameters staan tussen regel 83 en regel 111:

Regel 83: omschakelaar voor LoRa-bediening.

Regel 84: configuratie van FS, BW, CR en LDRO.

Regel 99: de parameters van het verzendpakket worden geconfigureerd in negen bytes; de laatste drie zijn gebruikelijk bij FSK-modulatie.

Voor elk van deze drie programmaregels is de eerste byte geen configuratiebyte, maar de opcode (het commando) die de LLCC68 vertelt wat hij met de volgende bytes moet doen. Er zijn in totaal 41 opcodes. Zie de datasheet voor meer details. Daar vind je ook de adressen van de 36 configuratieregisters.

SF - de spreidingsfactor

De gevoeligheid van het analoge ontvangstpad kan alleen worden aangepast via de versterking van de ingangsvorversterker, die configureerbaar is (zie regel 154 van de sketch). Maar we hebben gezien dat hoe meer we de waarde van SF verhogen, des te meer de datasnelheid afneemt. Omdat de efficiëntie van de digitale reconstructie van het bericht omgekeerd evenredig is met de datasnelheid, neemt de digitale gevoeligheid toe met de waarde van SF (net als de zendtijd). Dit verhoogt de gevoeligheid van het analoge deel, waardoor hogere

gevoeligheidscijfers en dus een groter bereik mogelijk worden.

SF komt ook overeen met het aantal bits dat wordt verzonden tijdens de periode T_S , dat wil zeggen per symbool.

De transmissietijd van een symbool T_S en van een bericht van 24 bytes is te zien in **tabel 1**. Semtech heeft een calculator op zijn website [2] geplaatst (**figuur 4**) die een nauwkeurige evaluatie van de zendtijd, het stroomverbruik en het linkbudget mogelijk maakt. Aarzel niet om deze te gebruiken, want hoewel hij niet specifiek gemaakt is voor de LLCC68 (veeleer voor de SX1272...SX1277), zijn de resultaten bijna identiek. Het verhogen van de waarde van SF naar de volgende waarde verdubbelt bijna de zendtijd, zoals blijkt uit tabel 1.

De waarde van de gegevenssnelheid (de bitsnelheid) is R_B en wordt berekend met de formule

$$R_B = SF \cdot (BW/2^{SF}) \cdot 4/(4+CR) \text{ (bits/s) (1)}$$

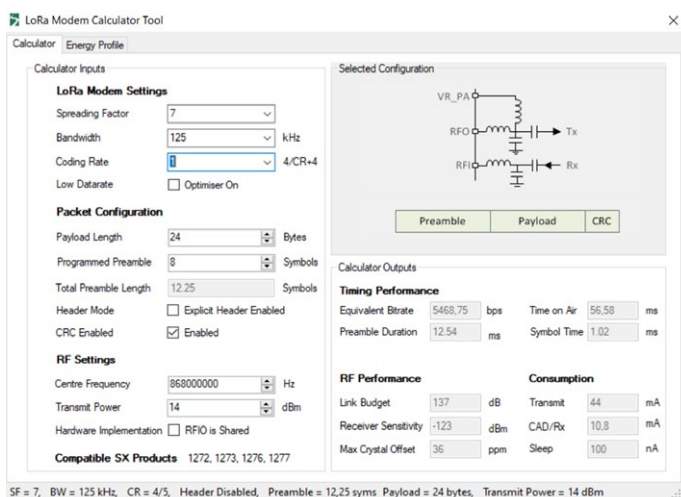
Omdat SF gelijk is aan het aantal bits per symbool, kan de baudsnelheid R_S (symbol rate) worden berekend:

$$R_S = R_B/SF \text{ (baud)}$$

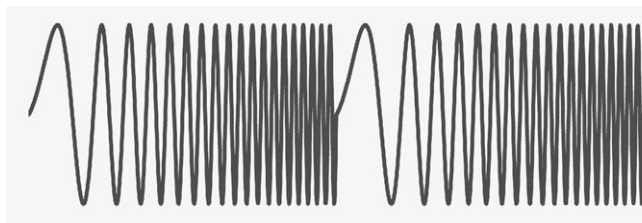
Aangezien de drie waarden BW, SF en CR bekend zijn, kunnen we eenvoudig de gewenste transmissiesnelheid configureren.

CR - de Code Rate

Met LoRa kan de betrouwbaarheid van de transmissie worden verhoogd door de redundantie van het signaal te verhogen. Voor CR = 1 is de redundantie 4/5, wat betekent dat er vijf bits worden gebruikt om elke vier databits te coderen. Voor CR = 4 is de verhouding 4/8, waarbij acht bits worden gebruikt om vier databits te coderen. Aangezien elk voordeel een nadeel met zich meebrengt, gaat een verhoging van de



Figuur 4. Er is ook een online versie van de LoRa modem-calculator van Semtech.



Figuur 5. Twee chirps (modulatie is ter illustratie overdreven).

Tabel 1.
Transmissietijden als functie van spreidingsfactor SF.

SF	R _b (bit/s)	R _s (baud)	Preamble tijd (ms)	T _s (ms)	Transmissie- tijd (ms)
5	15.625	3.125	3,135	0,256	16,37
6	9.375	1.562,5	6,27	0,51	30,85
7	5.468,75	781,3	12,54	1,02	56,58
8	3.125	390,6	25,09	2,05	102,91
9	1.757,8	195,3	50,18	4,10	185,34
10	976,5	97,7	100,35	8,19	370,69
11	537,11	48,8	200,70	16,38	659,46

Deze waarden zijn zonder header. De aanwezigheid van een header zal de transmissieduur verlengen. Hier is CR = 1, BW = 125 kHz, een bericht (payload) bevat 24 bytes en een preamble bestaat uit 8 + 4,25 = 12,25 symbolen. $T_s = 2SF/BW$.

De spreidingsfactor SF komt ook overeen met het aantal verzonden bits gedurende de tijd T_s . De waarden R_b en R_s in de tabel zijn verkregen met de Semtech-datacalculator die compatibel is met de producten SX1272...1277. Hoewel het niet specifiek wordt vermeld, is die calculator ook compatibel met de LLCC68. Opmerking: de transmissievertraging R_b van een bit van de payload (gebruikersbericht) en van een bit van de preamble zijn niet identiek.

CR gepaard met een verlaging van de R_b (zie vergelijking 1) waardoor de overdrachtstijd van het bericht groter wordt.

BW – de bandbreedte

De bandbreedte wordt ook wel de spectrale 'verstopping' van het gemoduleerde signaal genoemd. De variatie van een *chirp* (figuur 5), die zich uitstrekt van $F - df$ tot $F + df$, bepaalt de in beslag genomen bandbreedte. Omdat R_b evenredig is met BW, volgens vergelijking 1, kan de transmissietijd van een bericht worden verkort door een grotere waarde voor BW te kiezen. In tegenstelling tot de andere parameters is er geen praktisch nadeel aan een dergelijke verhoging, afgezien van een groter gebruik van de frequentieband.

Optimalisatie van de gegevens voor lage gegevenssnelheden

Rekening houdend met de potentieel lange packettijd voor hoge waarden van SF (10 of 11), moet de optie LDRO (Low Data Rate Optimization) worden geactiveerd. Deze optie verhoogt de betrouwbaarheid van de verzending ten opzichte van eventuele frequentievariaties tijdens het verzenden en ontvangen van het packet. Het gebruik ervan is vereist als de duur van een symbool, T_s , groter is dan 16 ms. In tabel 1 is bijvoorbeeld te zien dat, als SF = 11, LDRO moet worden gebruikt omdat $T_s > 16$ ms. De zender en de ontvanger moeten dezelfde LDRO-waarde gebruiken.

Overzicht van het LLCC68-besturingsprogramma

De 48 KB grote sketch bestaat uit 571 regels, waarvan het grootste deel van gedetailleerd commentaar is voorzien (in het Frans). Het commentaar verwijst naar de paginanummers van de LLCC68-datasheet. Het programma is eenvoudig opgebouwd zodat het kan worden aangepast aan elk soort toepassing.

Regel 1: Het programma bevat de SPI.h-bibliotheek. Deze maakt deel uit van de ingebouwde Arduino -bibliotheken. Deze hoeft niet geïnstalleerd te worden.

Regels 5 tot 15: Twee tabellen, één om het te verzenden bericht (TX) op te slaan, de andere om het ontvangen bericht (RX) op te slaan.

Regels 17 tot 28: Overzicht van de initialisatie van de ingangen en uitgangen om aanpassing aan elk type toepassing mogelijk te maken.

Regels 31 tot 48: Declaratie van de nodige variabelen voor de interne berekeningen van de sketch en de adressen van de registers van de LLCC68 die door het programma worden gebruikt.

Regels 50 tot 56: Declaratie van de algemene configuratievariabelen van de LLCC68.

Regels 57 tot 81: Declaratie van de variabelen die specifiek zijn voor de FSK-modulatie (de laatste drie packet-parameters zijn gemeenschappelijk voor LoRa).

Regels 83 tot 111: Declaratie van de LoRa-modulatievariabelen.

Regels 113 tot 170: Declaratie van de configuratievariabelen voor alle RF-functies van de LLCC68.

Regel 172: De vereiste Arduino `setup()`-functie.

Regel 197: De andere vereiste Arduino-functie, `loop()`. Deze bestaat uit twee delen. De RX/TX-modusschakelaar bepaalt welk deel wordt uitgevoerd.

Regels 232 tot 277: Vijf functies voor correctie van bepaalde beperkingen van de LLCC68 (zie hoofdstuk 15 van de datasheet).

Regels 278 tot 311: De functies `Message()`, `busy()` en `RX_Wait()`, gebruikt in de RX-modus. In de `RX_Wait()`-functie wacht een oneindige lus op de ontvangst van een geldig LoRa-bericht. De modusschakelaar maakt het mogelijk de lus te verlaten en over te schakelen van RX- naar TX-modus.

Regels 313 tot 355: `TXRX_Setup()`, de functie die gemeenschappelijk is voor zowel RX als TX, vervolgens `TX_Setup()` voor de configuratie van de TX-modus en `RX_Setup()` voor de RX-modus.

Regel 356: de functie `TX_Send()`, die de TX-modus en de verzending van een bericht start.

Regel 371: De `RX_Read()`-functie, die de RX-modus start en het programma in een oneindige lus plaatst, wachtend op een geldig LoRa-bericht.

Regel 411: `Fsk_Setup()` configureert de FSK-modus.

Regel 433: `Lora_Setup()` configureert de LoRa-modus.

Regels 454 tot 483: Groepeert de SPI-functies en vervolgens de functie `Status()` voor toegang tot de status van de LLCC68.

Regels 484 tot 571: Groepen `Affichage_GetRssi()`, `Affichage_GetRssiInst()` en `Affichage_GetStats()` – functies voor het meten van respectievelijk RSSI, SNR, en het ophalen van statistieken, zoals transmissiefouten en aantal berichten. Ze kunnen opnieuw worden verzonden om de link te optimaliseren.

Overdrachtssnelheid

De overdrachtssnelheid en het bereik van LoRa-berichten zijn afhankelijk van de waarden van SF, CR, BW en LDRO, maar ook van de keuze voor een header (expliciete optie) of niet (standaardoptie) en de lengte van die header, indien daarvoor is gekozen.

Terug naar de E220-900T modules

Met de software om de E220-900T22- of -30-modules aan te sturen die in het eerste deel [5] is gepresenteerd, kun je de LoRa-parameters niet configureren zoals je nu kunt doen. Ze stellen automatisch de parameters in die het beste zijn om de gewenste transmissiesnelheid te krijgen. Dit is erg jammer, want elke configuratie heeft zijn eigen voor- en nadelen. Daarom hebben we gekozen voor de E220-900M30S-module, die via zijn SPI-interface totale configuratie-flexibiliteit biedt.

Gebruik van de software

Alle commando's en configuraties, behalve die welke specifiek zijn voor je sensor, worden verzameld aan het begin van de sketch en zijn rijkelijk voorzien van commentaar. Tijdens de uitvoering van de sketch kun je bovendien de werking ervan stap voor stap volgen in de seriële monitor op je PC, omdat de sketch ruimschoots voorzien is van `serial.print()`-opdrachten. Zie ook het kader **Overzicht van het LLCC68-besturingsprogramma** voor meer details.

Een bericht verzenden (Tx)

Er is een schrijfbuffer op regel 6 die je bericht moet bevatten telkens wanneer je de sketch start. Vervang hiervoor de ASCII-codes in regel 7 en 8 door je bericht (maximaal 127 bytes, in ASCII). Als je bericht een numerieke waarde is (bijvoorbeeld de output van de sensormeting), moet je die converteren naar ASCII voordat je de waarde naar de tabel schrijft.

Houd je aan het formaat van de tabel. Verander de eerste twee bytes niet – 0x0E is het commando (opcode) dat de LLCC68 nodig heeft om naar de buffer te schrijven; 0x80 is het adres van de TX-sectie van de buffer. Je moet echter de derde byte instellen, die het totale aantal bytes van je bericht is. Deze wordt gebruikt vanaf het herstel van het bericht tot het moment van ontvangst. Opmerking: alle waarden zijn hexadecimaal.

Afhankelijk van de lengte van je bericht moet je misschien nog een paar parameters aanpassen: de maximale lengte van het bericht (regel 99,

bytes 4 en 7), en ook regel 125 en 126 voor ontvangst. Op regel 122 kun je de locatie van de ontvangst- en zendbuffers wijzigen; de parameters die specifiek zijn voor LoRa staan in de regels 83 tot 112.

Zet schakelaar SW_1 in positie Tx (open) en start de sketch opnieuw. Je bericht wordt dan periodiek verzonden, gescheiden door een programmeerbare vertraging (regel 229). Je zult waarschijnlijk de verhouding van de busy- en sleep-tijd moeten aanpassen zodat deze niet boven 1% komt (wettelijke limiet voor LoRa-transmissies in Frankrijk).

Een bericht ontvangen (Rx)

Zet schakelaar SW_1 in de Rx-stand (gesloten) en start het programma opnieuw. Het zal dan wachten op de ontvangst van een geldig LoRa-bericht, dat automatisch in de ontvangstbuffer wordt geplaatst (regel 14). Je hoeft het dan alleen nog maar te lezen.

Een andere manier om dit te doen is door de Rx-functie aan te passen, regel 37, die het mogelijk maakt om een ontvangen bericht terug te halen in de lus, regels 381 tot 396. Hij gebruikt een `if`-constructie voor het herkennen van de byte 0x0A, waardoor de `Message_Valid`-vlag op 1 wordt gezet. Het voorbeeld doet een LED op het board oplichten, maar het kan ook worden gebruikt voor remote signaleringsdoeleinden.

Enkele toepassingsideeën

Een GPS-baken voor mens, dier of wat dan ook is een toepassingsvoorbeeld van ons Zwitsers LoRa-zakmes. Het programma dat we hebben ontwikkeld is in elk geval zeer veelzijdig en suggereert een groot aantal andere toepassingen, zoals:

- verzamelen van gegevens (bodenvochtigheid, zonlichtniveau enzovoort) voor een landbouwtoepassing of een weerstation;
- een domoticasysteem voor een tuin, een park, meerdere huizen, een hele straat of zelfs een dorp;
- bewaking (brand, beveiliging) of telemetrie van een groot of geïsoleerd gebied (zwembad, sportterrein, industriële installatie enzovoort).
- centrale distributie van de tijd, maanstanden en de stand van de belangrijkste planeten naar ontvangende klokken in een huis of groter gebouw (museum, gemeentehuis enzovoort) of in een stadsdeel.

Er zijn er nog veel meer, en waarschijnlijk zijn er al talloze andere mogelijkheden in je opgekomen... ◀

230140-B-03

De Europese norm

Je mag conform het LoRa-protocol in de 868MHz-band zenden, met inachtneming van de Europese regels, die samengevat als volgt luiden:

1. Zend niet uit buiten de 868 MHz-band.
2. Gebruik geen grotere bandbreedte dan BW = 500 kHz.
3. Het uitgestraalde vermogen in lucht mag niet hoger zijn dan 14 dBm (25 mW). Dit kan veel meer zijn aan

de uitgang van de module, afhankelijk van de verliezen tussen de module en de antenne.

4. Zend niet meer dan 1% van de tijd (duty cycle). Dat wil zeggen dat als de transmissietijd van een bericht 0,1 seconde is, we slechts elke $0,1 \times 100 = 10$ seconden een nieuwe transmissie mogen doen, oftewel zes keer per minuut (wat voldoende is voor veel toepassingen). Een voorbeeld: als je net de auteur

een beagle als metgezel hebt die vaak wegloopt, en je wilt zijn GPS-coördinaten weten zodat je hem kunt terugvinden op zijn zwerftochten, dan zal een halsband met een GPS-ontvanger, een LoRa-zender en een kleine batterij je problemen oplossen. Zes keer per minuut verzendt het de positie van de hond tot op een afstand van 10 km (zonder obstakels). De gadget verbruikt heel weinig stroom: het is een licht, klein systeem met een grote autonomie.



Over de auteur

Gilles Brocard is gepensioneerd raadgevend ingenieur en trainer voor analoge elektronische simulatiesoftware (LTspice). Hij is ook een specialist in het ontwerpen van on-board converters (SMPS).

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via brocard.gilles.b26@gmail.com of naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.



Gerelateerde producten

- > **Great Scott Gadgets HackRF One Software Defined Radio (1 MHz to 6 GHz) (SKU 18306)**
www.elektor.nl/18306
- > **CircuitMess Chatter - DIY LoRa Communicator (SKU 20407)**
www.elektor.nl/20407
- > **Claus Kühnel, Develop and Operate Your LoRaWAN IoT Nodes, Elektor 2023 (SKU 20147)**
www.elektor.nl/20147

WEBLINKS

- [1] Broncode en print-layout: <http://www.elektormagazine.nl/230140-B-03>
- [2] LoRa modem-calculator: <https://lora-developers.semtech.com/build/tools/calculator>
- [3] Lycée Dorian: "Caractérisation de l'interface radio LoRa d'un réseau de communication LoRaWAN," [eduscol.education.fr: http://www.elektormagazine.fr/lycee-dorian](http://www.elektormagazine.fr/lycee-dorian)
- [4] Officieel radioreglement voor Frankrijk [Franstalig]: https://arcep.fr/uploads/tx_gsavis/21-1589.pdf
- [5] Deel 1 van deze serie: <http://www.elektormagazine.nl/230140-03>

R&S® ESSENTIALS NEXT-GEN OSCILLOSCOOP: EVOLVED FOR MORE CHALLENGES

Eenvoudig nauwkeurigheid bereiken.



NIEUWE R&S® MXO5- oscilloscoop

De R&S®MXO 5-serie levert baanbrekende oscilloscooptechnologie om uw inzicht in en testen van elektronische systemen te versnellen.

Met beide 4- en 8-kanaals modellen zijn de specificaties van de R&S®MXO 5-serie indrukwekkend, waardoor het instrument zich onderscheidt van andere opties in de branche.

Daarnaast zijn de oscilloscopen uit de R&S®MXO 5-serie het toppunt van baanbrekende technologie door het leveren van snelle en nauwkeurige resultaten. Met aangepaste technologie en baanbrekende functies zijn deze oscilloscopen de optimale instrumenten voor inzicht in circuitgedrag.

Meer informatie op:
www.rohde-schwarz.com/product/mxo5

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real

