

Use of 4G/5G communication in embedded systems
Bachelor's Thesis

Author: MICHAL HANUS
Advisor: Ing. ALEŠ POVALAČ, PhD.

Brno, 17. 6. 2025

Základní informace o firmě:

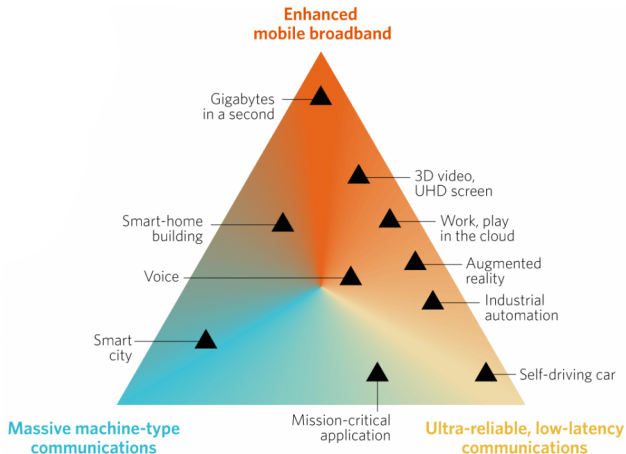
- Sídlo v JICu nad budovou FSI
- 20 vývojářů
- Specializace na embedded
- Zakázkový vývoj pro průmysl ve:
 - Zdravotnictví
 - Zemědělství
 - Zabezpečení



DIVELIT

Priority mobilní sítě se od 4G začínají dělit na:

- eMBB - Velká přenosová rychlost
- mMTC - Velký počet připojitelných zařízení a nízký odběr
- URLLC - Spolehlivost a malá latence



Copyright Stratfor 2018

Fig. 1: [1]

- Základní principy 4G/5G v IoT
 - NB-IoT
 - LTE-M
 - DECT NR+
- Chipsety a vytvoření demonstrátoru
- Laboratorní měření
- Praktická měření
- Výsledky
- Otázky oponenta
 1. Co je myšleno slovem simulace?
 2. Napojení měřených dat z modulu a telefonu.
 3. Kolísání výsledků při maximálním proudu

- Základní principy 4G/5G v IoT
 - NB-IoT
 - LTE-M
 - DECT NR+
- Chipsety a vytvoření demonstrátoru
 1. Co je myšleno slovem simulace?
- Laboratorní měření
 3. Kolísání výsledků při maximálním proudu
- Praktická měření
 2. Napojení měřených dat z modulu a telefonu.
- Výsledky

- LPWAN (NB-IoT, LTE-M)
 - Velký objem sporadických dat
 - Velký počet zařízení
 - Malé přenášené objemy a nízká režie spojení
 - Nízká spotřeba
 - Větší dosah spojení
- DECT NR+
 - První nebuňkový mobilní 5G protokol
 - Operace v pásmu DECT (bezšňůrové telefony)
 - Vysoká spolehlivost
 - Velmi nízká latence

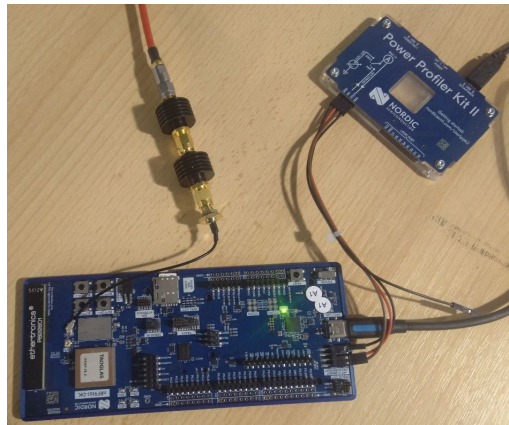
System-in-Package obsahuje:

- LTE modem (s podporou NB-IoT a LTE-M)
- Alternativní DECT NR+ modem (PHY)
- Kontrolér ARM Cortex-M33 se standardními perifériemi
- GNSS přijímač



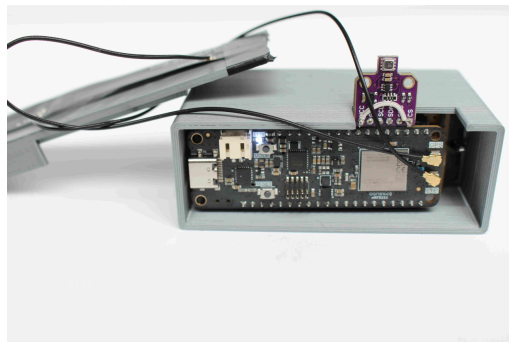
Hlavní výhody:

- Možnost připojení ampérmetru
- Oficiální podpora výrobce
- Integrovaný debugger
- Velké množství pinů
- Použit pro laboratorní měření



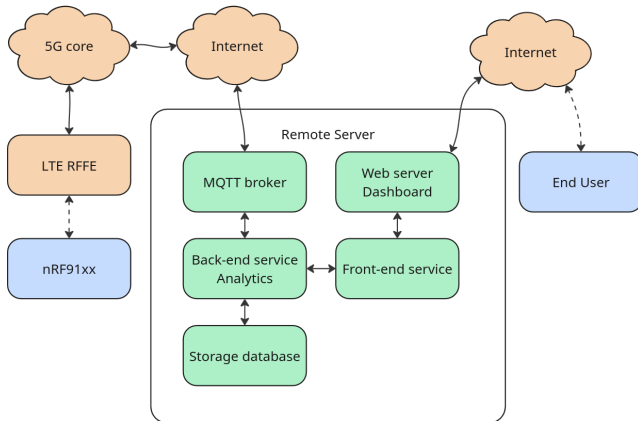
Demo tracker:

- Modul Connexio Pro s nRF9151
- Molex anténa
- Meteorologický senzor BME680
(pro "simulaci" užitečných dat)
- Zobrazení přes univerzální MQTT klient



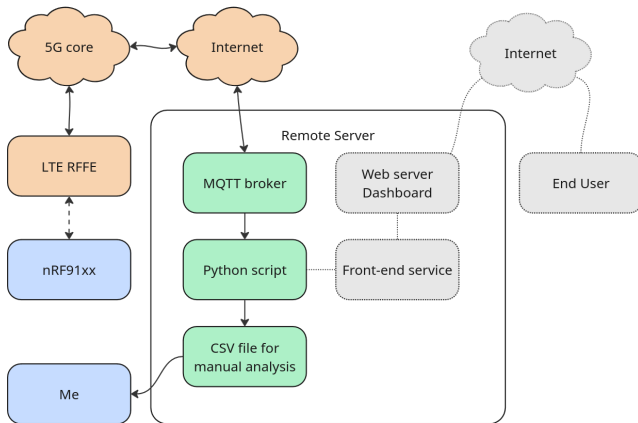
Otázka 1. - Co je myšleno slovom simulace?

V práci sa mnohokrát spomína slovo simulácia, napr. „simulating a data transfer to a central panel“. Mohli by ste vysvetliť, že čo, prečo a ako sa simulovalo, keď celá práca je zameraná na praktické meranie v rámci 4G/5G systémoch?



Otázka 1. - Co je myšleno slovom simulace?

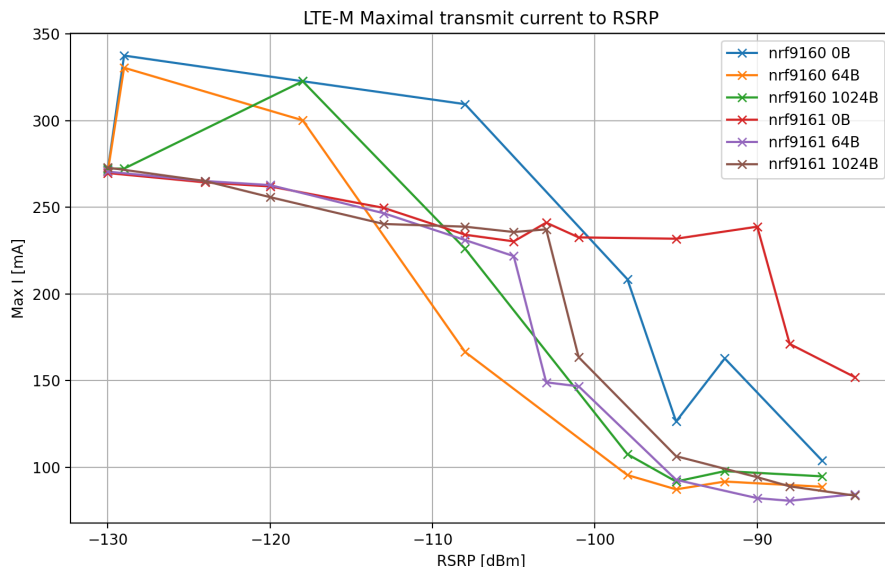
V práci sa mnohokrát spomína slovo simulácia, napr. „simulating a data transfer to a central panel“. Mohli by ste vysvetliť, že čo, prečo a ako sa simulovalo, keď celá práca je zameraná na praktické meranie v rámci 4G/5G systémoch?

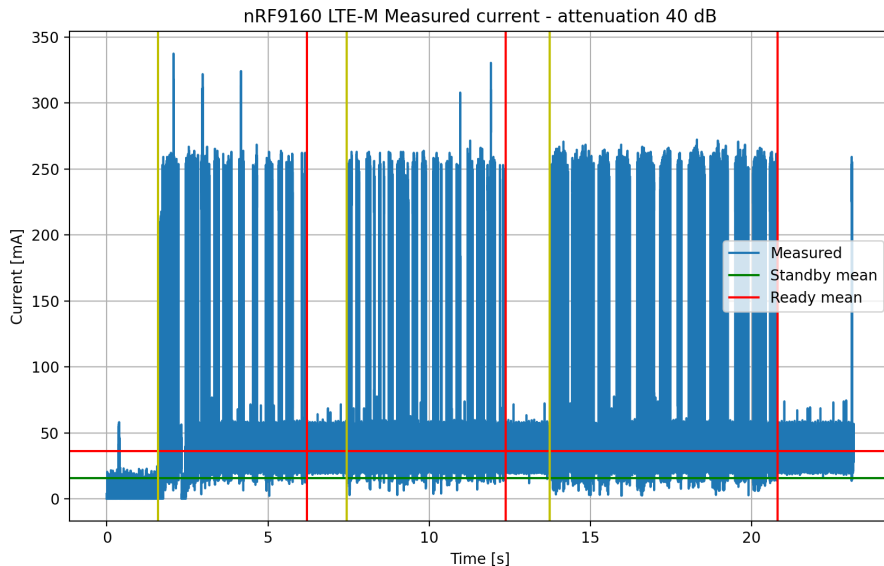


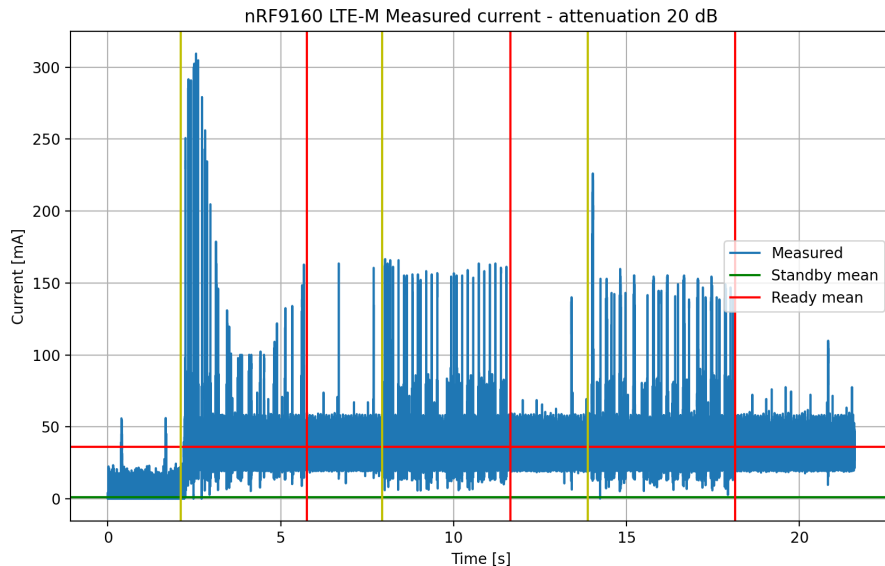
Praktická ukázka

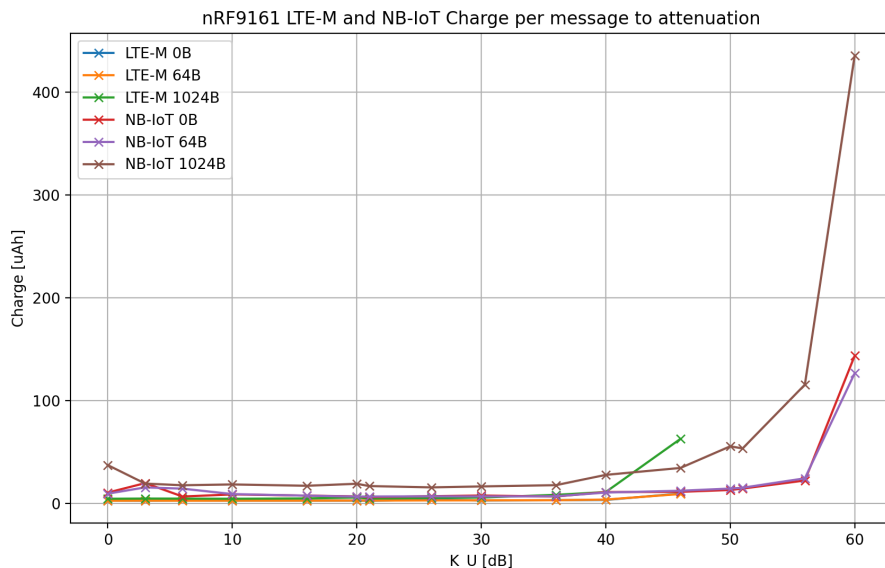
KU [dB]	RSRP [dBm]	SNR [ms]	RT max [ms]	RT avg [ms]	Transmit [s]	Max I [mA]	Ready I [mA]	Standby I [mA]	Charge [uAh]	DR [kB/s]
0	-84	7	371	304	0.47	83.76	33.59	1.25	4.45	4.37
3	-88	7	382	316	0.49	89.05	33.74	1.22	4.63	4.21
6	-90	7	346	303	0.48	94.35	33.69	0.92	4.59	4.27
10	-95	7	345	298	0.46	106.46	33.70	1.24	4.44	4.45
16	-101	7	409	302	0.48	163.53	33.63	1.24	4.77	4.29
20	-105	7	441	355	0.54	235.71	33.81	0.93	5.68	3.81
21	-103	9	300	272	0.44	237.25	33.83	1.23	4.62	4.70
26	-108	9	375	305	0.48	238.79	35.30	0.92	5.37	4.28
30	-113	8	377	312	0.48	240.34	35.38	1.23	5.59	4.26
36	-120	6	470	414	0.61	255.80	35.52	0.92	8.28	3.38
40	-124	4	650	553	0.73	265.09	35.94	0.92	10.97	2.82
46	-130	-2	3421	2868	3.08	272.84	35.40	1.27	62.66	0.67

Table 1: LTE-M nRF9161 measurements with payload size 1024 B







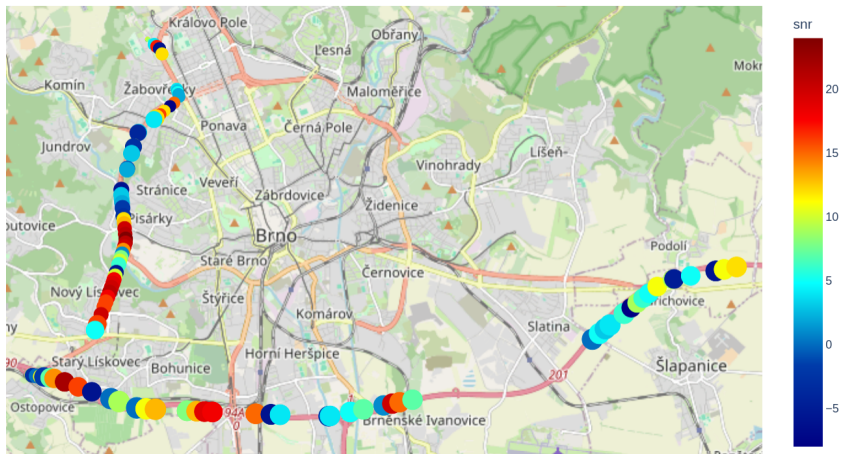


Cíle měření:

- Trasa F-M - Brno a zpět
- Porovnání LTE-M a NB-IoT pro pohyblivé aplikace
 - Vliv rychlosti na komunikaci
 - Praktické ověření pokrytí



<https://mikehanus.github.io/bcthesis-datavisualisation>



V práci sa píše, že zvlášť sa merali hodnoty vybraných objektívnych parametrov a zvlášť boli zaznamenané dáta GNSS z mobilu. Tie boli následne spárované. Nedochádzalo k nejakým problémom pri tomto procese? Ako sú riešené možné výpadky niektorých hodnôt, ktoré buď nie sú validné, alebo chýbajú zo spomínaných dvoch dátových polí?

```
[60]: df = pd.merge_asof(dg, gps, on='time', direction='nearest')
      len(df.index)

      i = 0
      def aproxpos(t):
          global i
          while i+2 < len(gps.index) and gps.at[i+1, 'time'] < t:
              i += 1
          t1, t2 = gps.at[i, 'time'], gps.at[i+1, 'time']
          la1, la2 = gps.at[i, 'lat'], gps.at[i+1, 'lat']
          lo1, lo2 = gps.at[i, 'lon'], gps.at[i+1, 'lon']

          la = (t-t1)*((la2-la1)/(t2-t1)) + la1
          lo = (t-t1)*((lo2-lo1)/(t2-t1)) + lo1
          return pd.Series([la, lo])

      df[['lat', 'lon']] = df['time'].apply(aproxpos)
      df.head(5)
```

- NB-IoT má o 11-14 dB lepší dosah oproti LTE-M (6 dB podle datasheetu)
- LTE-M, pokud je v dosahu, je oproti NB-IoT lepší z hlediska přenosové rychlosti i spotřeby.
- NB-IoT zvládá komunikaci i při rychlostech do 130 km/h

Děkuji za pozornost

[1] Forbes 2018 [cit. 16.6.2025], Dostupné online:
[https://www.forbes.com/sites/stratfor/2018/04/03/
the-u-s-china-and-others-race-to-develop-5g-mobile-networks/](https://www.forbes.com/sites/stratfor/2018/04/03/the-u-s-china-and-others-race-to-develop-5g-mobile-networks/)