Slovenská Technická Univerzita v Bratislave
Fakulta informatiky a informačných technológií

Návrh a implementácia efektívneho komunikačného protokolu pre IoT meteorologické zariadenia

Počítačové a komunikačné siete

Filip Múdry
AIS ID: 127504

Vedúci cvičenia: Matúš Makay
Čas cvičenia: Štvrtok 8:00 – 9:50

Obsah:

2. Prehľad riešenia

Systém pozostáva z dvoch programov komunikujúcich cez UDP:
Server (centralizovaný príjemca a kontrolór aktivity) a **Tester** (klient simulujúci viaceré senzory). Výmena správ prebieha vo formáte JSON. Integrita dát je chránená kontrolným súčtom CRC32 vypočítaným z poľa data. Autorizácia odosielania dát prebieha pomocou **tokenu**, ktorý server pridelí pri registrácii senzora.

Architektúra a roly

Server

Naslúcha na UDP porte, prijíma správy a podľa typu vykonáva akciu.

Pri správe register overí identitu a typ senzora, vynúti politiku „jeden aktívny senzor na typ“, vygeneruje token a odpovie register_ack.

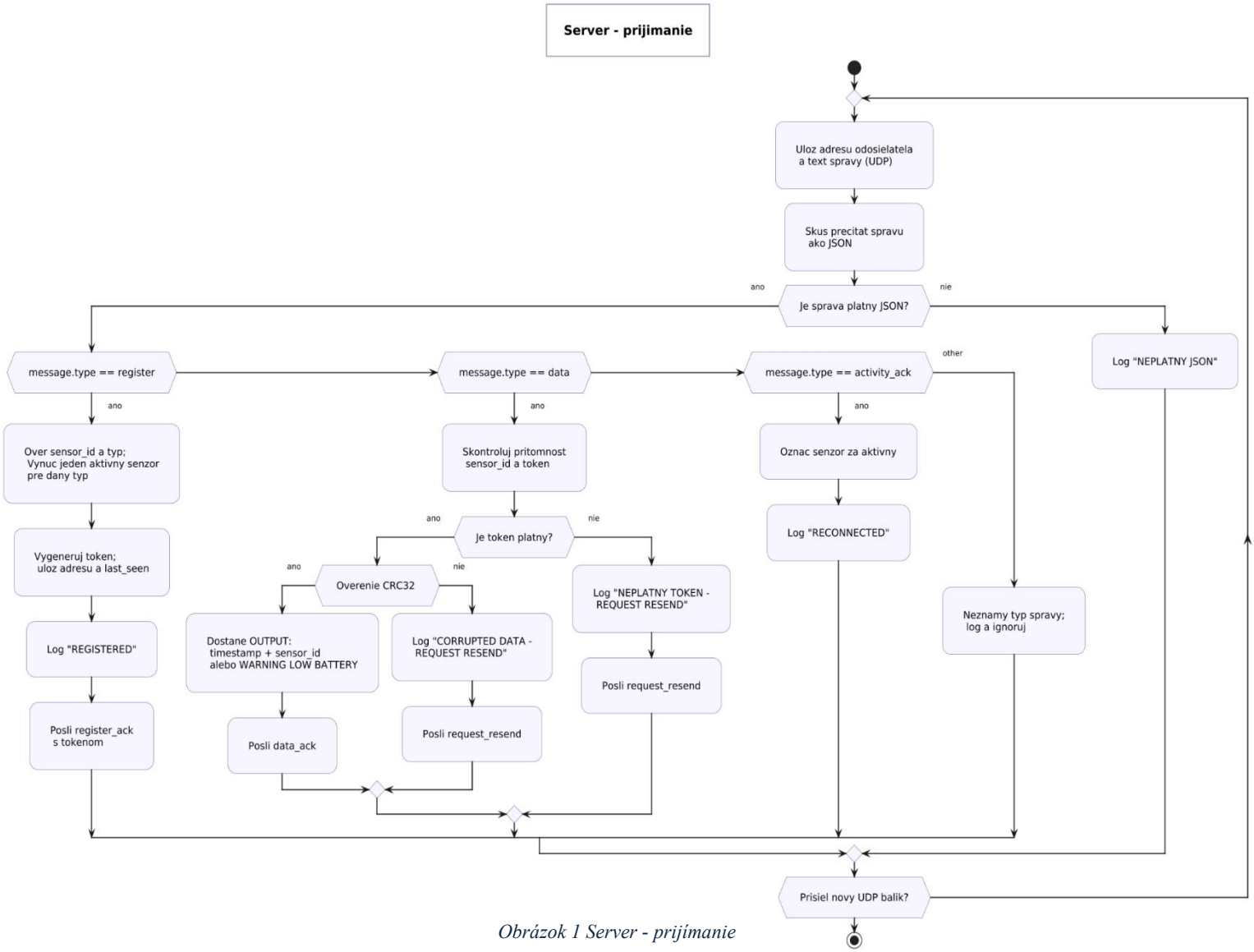
Pri správe data kontroluje prítomnosť sensor_id, token a správnosť CRC32 nad poľom data. Pri úspechu odpovie data_ack, pri chybe vyžiada opätovné zaslanie (request_resend).Periodicky monitoruje aktivitu registrovaných senzorov zasielaním activity_check. Bez odozvy v limite vyhodnotí senzor ako DISCONNECTED; po prijatí activity_ack zaznamená RECONNECTED.

Tester

Pri štarte registroje všetky simulované senzory a ukladá si tokeny z register_ack. V automatickom režime v intervale vytvára správy data s príznakom low_battery podľa stavu, počíta CRC32 nad data a odosiela. Po data_ack označí poslednú správu ako úspešne doručenú.V manuálnom režime umožňuje poslať presne definované merania. Pre UAT3 vie zámerne odoslať chybný rámec (nesprávna CRC pri rovnakom timestamp a data) a na request_resend poslať korektnú verziu.

Na activity_check odpovedá activity_ack podľa pravidiel implementácie (napr. po treťom pingu pri pozastavenom senzore alebo keď je auto-odosielanie aktívne).

Vývojové diagramy – Server



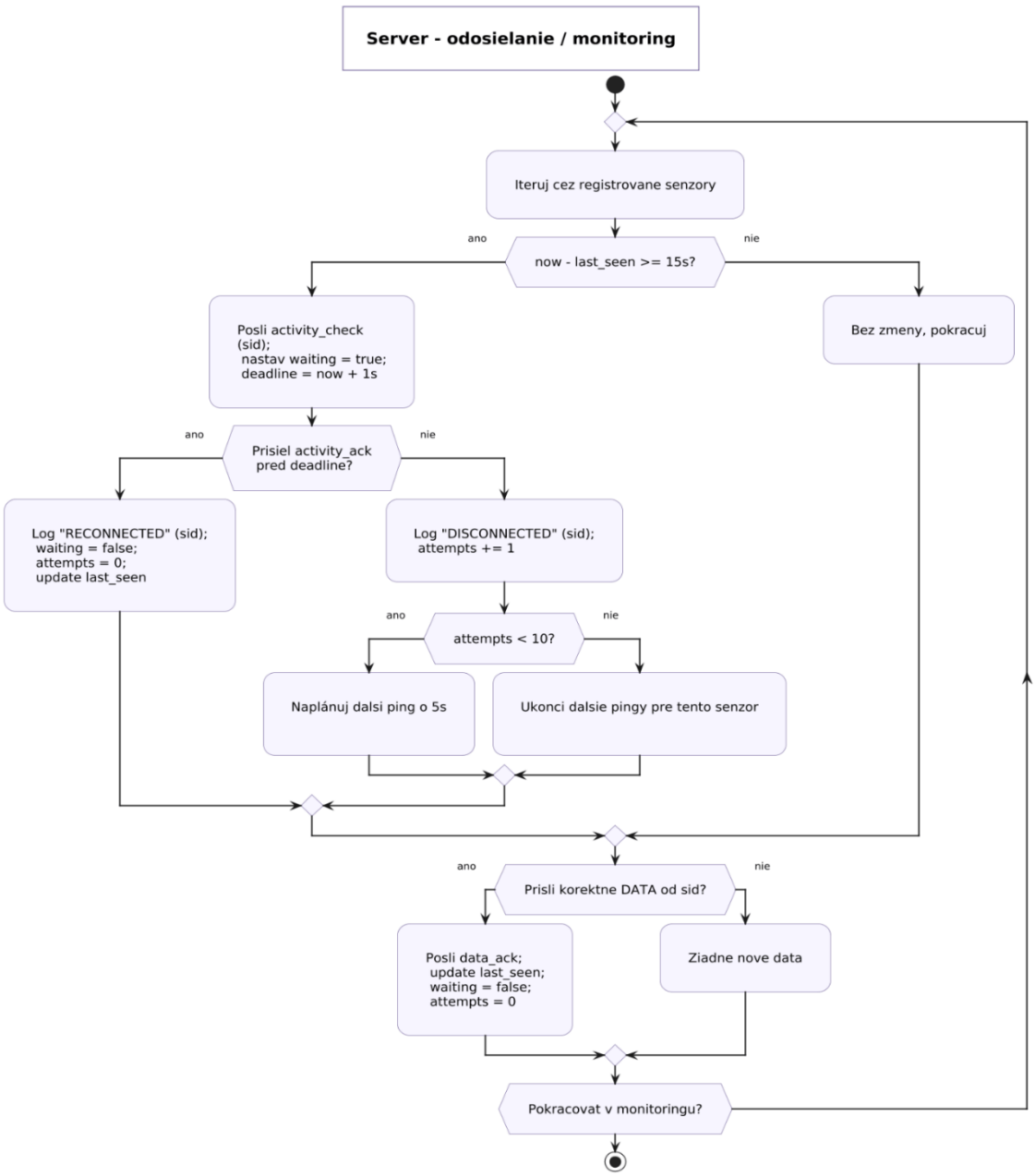
Obrázok 1 Server - prijímanie

Server nepretržite naslúcha na svojom UDP porte a čaká na príchod správ od testerov (senzorov). Po prijatí balíka si uloží adresu odosielateľa a obsah správy. Následne sa pokúsi správu prečítať ako JSON. Ak je správa neplatná alebo nečitateľná, zapíše do logu informáciu o chybe („neplatný JSON“) a pokračuje v čakaní na ďalší balík.

Ak je správa platná, spracuje sa podľa poľa type:

- **register** – Server overí identifikátor a typ senzora, zabezpečí, že pre daný typ existuje len jeden aktívny senzor, vygeneruje token a odošle odpoveď register_ack.

- **data** – Server skontroluje prítomnosť sensor_id a token, overí platnosť tokenu a správnosť CRC32 nad poľom data.
    - Pri chybe (neplatný token alebo nesprávna CRC) odošle request_resend.
    - Pri správnych dátach ich spracuje, vypíše telemetriu (napr. čas, senzor, upozornenie na nízku batériu) a odošle data_ack.
- **activity_ack** – Označí daný senzor ako opäť aktívny a zaloguje „RECONNECTED“.
- **Iný typ správy** – Zaloguje ako neznámy a ignoruje.



Obrázok 2 Server - odoslanie

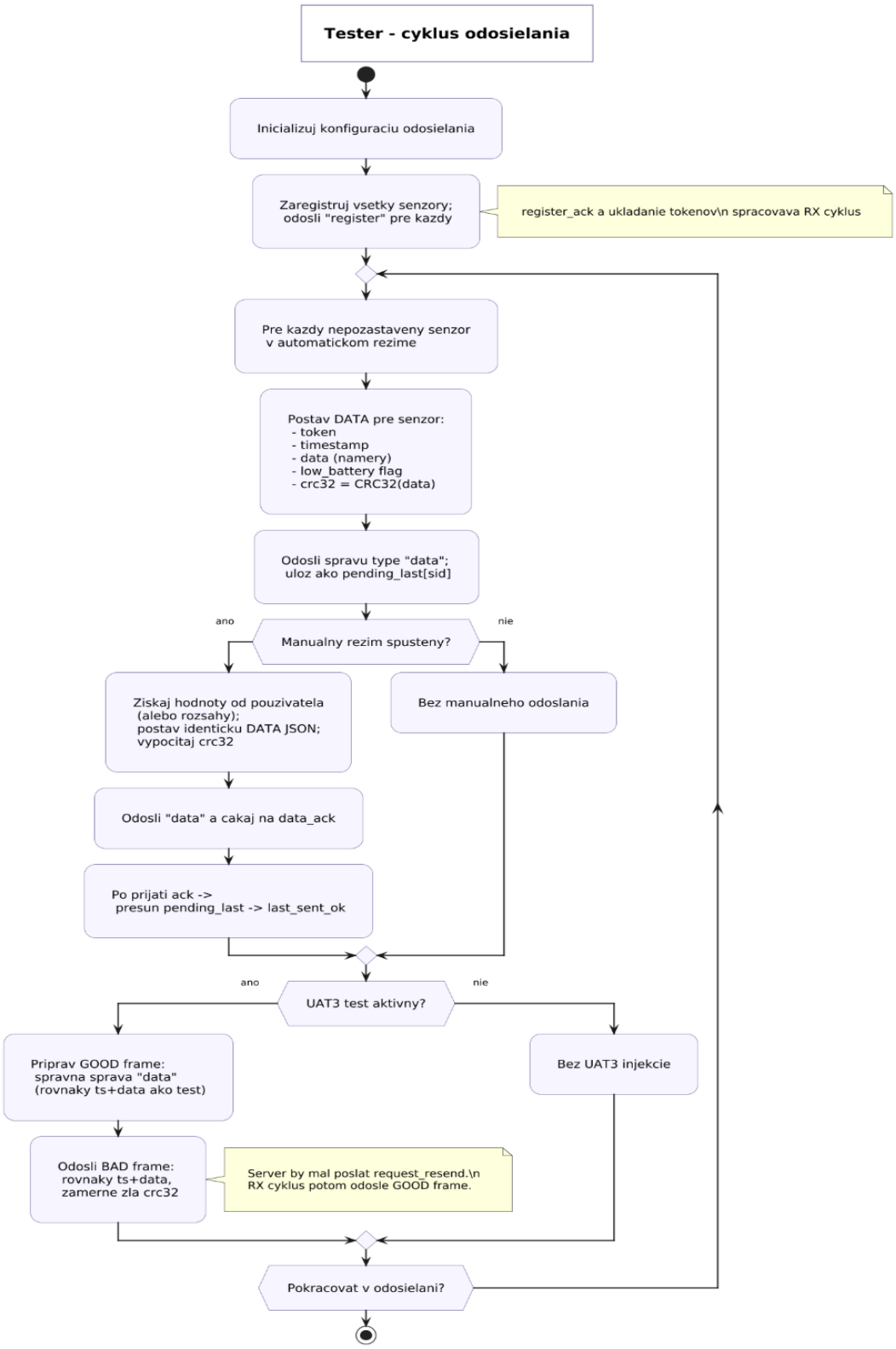
Server priebežne monitoruje všetky registrované senzory, aby overil ich dostupnosť a aktivitu. Každých približne 15 sekúnd prejde zoznam senzorov a tým, ktoré dlhšie neodoslali dáta, pošle správu activity_check.

Ak odpoveď nepríde do stanoveného času, server zaznamená varovanie, zvýši počet pokusov a po desiatich neúspešných pingoch označí senzor ako **DISCONNECTED**.

Ak senzor odpovie správou activity_ack, server jeho stav obnoví, vynuluje počítadlo pokusov a zaloguje **RECONNECTED**.

Okrem toho pri prijatí korektných dát (správa data) server odošle potvrdenie **data_ack** a aktualizuje čas poslednej aktivity senzora.

Vývojové diagramy - Tester

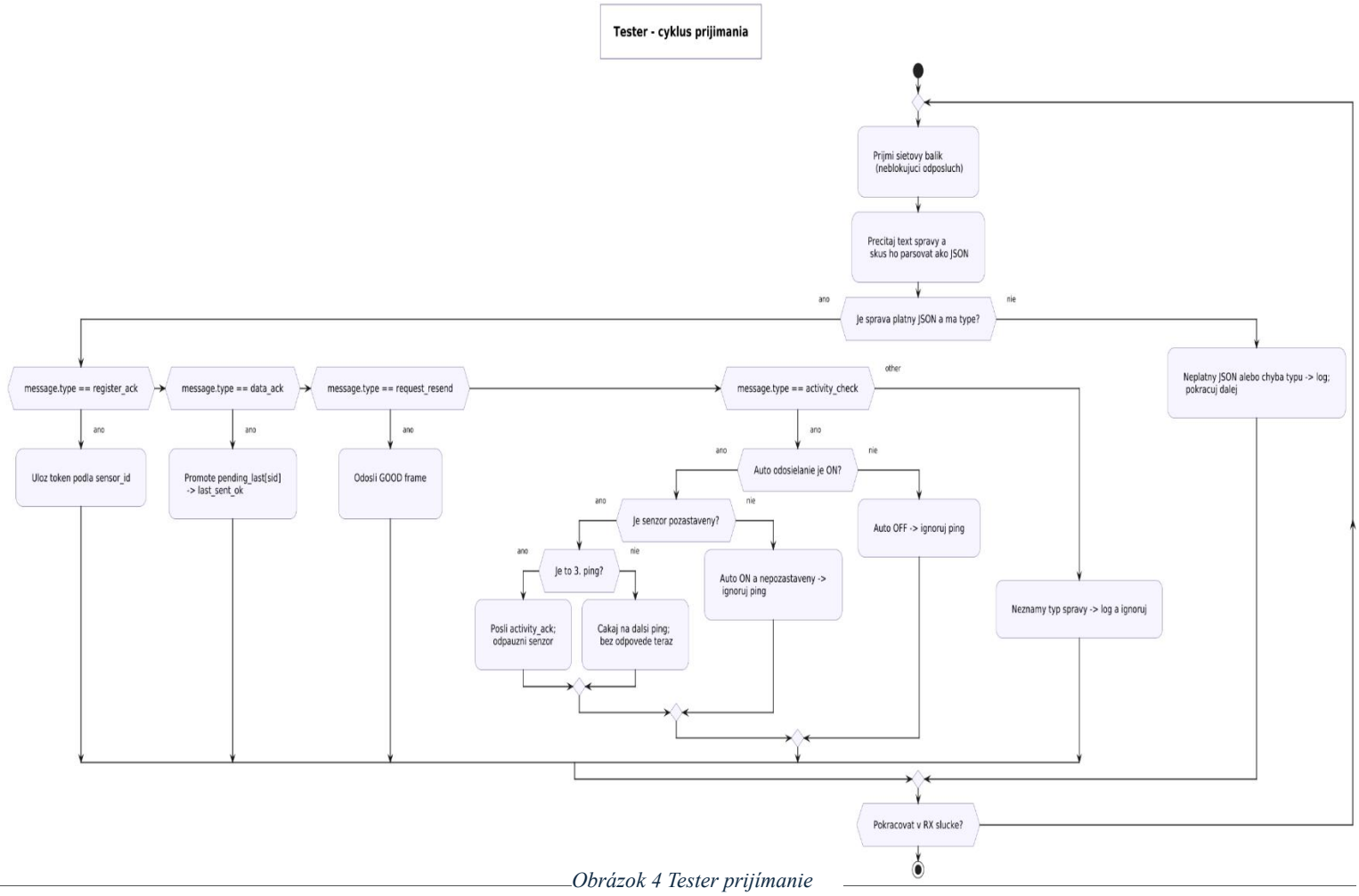


Obrázok 3 Tester odosielanie

Tester po spustení najprv inicializuje konfiguráciu odosielania a zaregistruje všetky senzory zaslaním správ typu **register**. Po úspešnej registrácii a prijatí tokenov začne pre každý aktívny senzor automaticky vytvárať dátové správy. Každá správa obsahuje identifikátor senzora, token, časovú pečiatku, namerané hodnoty, príznak nízkej batérie a kontrolný súčet **CRC32**.

V automatickom režime tester tieto správy pravidelne odosiela na server a čaká na potvrdenie **data_ack**. Pri manuálnom režime je možné zadať hodnoty meraní ručne a po prijatí potvrdenia sa správa označí ako úspešne doručená.

Súčasťou logiky je aj test **UAT3**, pri ktorom tester zámerne odošle chybný rámec s nesprávnou CRC. Server na to reaguje správou **request_resend**, po ktorej tester odošle pôvodnú správnu verziu dát. Tento cyklus sa opakuje, kým je proces odosielania aktívny.



Obrázok 4 Tester prijímanie

Tester v prijímacom cykle neustále počúva na sieti a spracúva správy, ktoré prichádzajú zo servera. Každý prijatý balík sa najskôr pokúsi prečítať ako JSON a podľa poľa **type** sa vykoná príslušná akcia.

Ak ide o správu **register_ack**, tester uloží token, ktorý pridelil server konkrétnemu senzoru. Pri správe **data_ack** označí posledne odoslané dáta ako úspešne doručené (presun z *pending* do *last_sent_ok*). Ak server pošle správu **request_resend**, tester odošle znova korektnú verziu poslednej správy – buď vopred pripravený rámec z testu UAT3, alebo poslednú platnú správu z pamäte.

Na správu **activity_check** tester reaguje podľa aktuálneho stavu. Ak je automatické odosielanie zapnuté, správa sa môže ignorovať. Ak je senzor pozastavený, tester odošle **activity_ack** po treťom neúspešnom pokuse servera, čím potvrdí obnovenie spojenia. Všetky ostatné neznáme alebo neplatné správy sa iba zalogujú a cyklus pokračuje ďalej v prijímaní.

Návrh jednotlivých správ v JSON formáte

1. Register

Účel: Tester (senzor) sa registruje na server a žiada o pridelenie tokenu.
Odosiela: Tester
Spracováva: Server
Popis: Slúži na identifikáciu senzora a jeho typu. Server overí, či už daný typ senzora nie je aktívny, vygeneruje token a pošle potvrdenie registrácie.

Polia:

- type – typ správy ("register")
- sensor_id – identifikátor senzora (napr. "T001")
- sensor_type – názov typu senzora
- timestamp – čas založenie / registrácie senzora

Príklad:

{ "type":"register", "sensor_id":"T001", "sensor_type":"ThermoNode", "timestamp":1730458200 }

2. Register_ack

Účel: Server potvrdzuje registráciu senzora a priraďuje mu token.

Odosiela: Server

Spracováva: Tester

Popis: Každý senzor musí token uvádzať pri ďalších dátových správach. Token identifikuje konkrétne spojenie senzora so serverom.

Polia:

- type – "register_ack"
- token – priradený identifikátor senzora
- timestamp – čas registracie senzora

Príklad:

{ "type":"register_ack", "sensor_id":"T001", "token":123456, "timestamp":1730458201 }

3. Register_denied

Účel: server odmieta registráciu senzora, pretože pre daný sensor_type už existuje aktívny senzor (politika „jeden aktívny senzor na typ“).

Odosiela: Server

Spracováva: Tester

Kedy vzniká: pri pokuse o registráciu nového senzora daného typu, kým je iný senzor rovnakého typu stále aktívny. Server vráti dôvod a identifikátor aktuálne aktívneho senzora.

Polia:

- type – vždy "register_denied".
- reason – dôvod odmietnutia, napr. "type_busy" keď je typ už obsadený.
- sensor_type – typ, ktorý je obsadený (napr. "ThermoNode").
- active_sensor_id – identifikátor momentálne aktívneho senzora tohto typu.
- timestamp – čas vytvorenia správy (UNIX seconds).

Príklad:{

"type": "register_denied",

"reason": "type_busy",

"sensor_type": "ThermoNode",

"active_sensor_id": "T001",

"timestamp": 1730458201

}

4. Data

Účel: Odosielanie nameraných údajov zo senzora na server.

Odosiela: Tester

Spracováva: Server

Popis: Obsahuje aktuálne merania, čas odoslania, stav batérie a kontrolný súčet CRC32, ktorý overuje integritu prenesených dát.

Polia:

- type – "data"
- sensor_type – typ senzora
- sensor_id – identifikátor senzora
- token – token pridelený serverom
- timestamp – čas odoslania (v sekundách)
- low_battery – príznak nízkej batérie (true / false)
- data – objekt s meraniami (napr. teplota, vlhkosť…)
- crc32 – kontrolný súčet výpočítaný z poľa data

Príklad:

{

"type": "data",

"sensor_type":"ThermoNode",

"sensor_id": "T001",

"token": "A1B2C3",

"timestamp": 1730458200,

"low_battery": false,

"data": { "temp_c": 21.7, "humidity": 44.9 },

"crc32": "0xD3C1A4F9"
}

Odpovede servera:

Korektné dáta:

{ "type": "data_ack", "sensor_id": "T001" }

Poškodené dáta:

{ "type": "request_resend", "sensor_id": "T001" }

5. data_ack

Účel: Potvrdenie, že server úspešne prijal a spracoval dáta.

Odosiela: Server

Spracováva: Tester

Popis: Tester si na základe tejto správy označí posledne odoslané dáta ako doručené.

Polia:

- type – "data_ack"
- sensor_id – identifikátor senzora
- timestamp – rovnaké ako predtým

Príklad:

{
"type": "data_ack",
"sensor_id": "T001"
"timestamp":1730458301
}

6. request_resend

Účel: Server žiada opätovné zaslanie dátovej správy, ak CRC alebo token nebol správny.

Odosiela: Server

Spracováva: Tester

Popis: Tester po prijatí tejto správy odošle znovu poslednú korektnú správu s pôvodným timestampom a dátami.

Polia:

- type – "request_resend"
- sensor_id – identifikátor senzora

Príklad:

{ "type":"request_resend", "sensor_id":"T001", "timestamp":1730458301 }

7. Activity_check

Účel: Overenie, či je senzor stále aktívny (ping).

Odosiela: Server

Spracováva: Tester

Popis: Server periodicky zasiela tieto správy všetkým registrovaným senzorom. Ak neodpovedajú, vyhodnotí ich ako odpojené.

Polia:

- type – vždy "activity_check".
- sensor_id – senzor, ktorého sa kontrola týka.
- timestamp – čas vytvorenia správy (UNIX seconds).
- attempt – poradové číslo kontrolného ping-u (napr. 1, 2, 3…).

Príklad:

{ "type":"activity_check", "sensor_type":"ThermoNode", "sensor_id":"T001",
"token":123456, "timestamp":1730458350, "low_battery":false, "attempt":3 }

8. Activity_ack

Účel: Odpoveď senzora na kontrolnú správu servera.

Odosiela: Tester

Spracováva: Server

Popis: Tester ňou potvrdzuje, že je stále pripojený. Server po prijatí obnoví stav senzora a zapíše **RECONNECTED**.

Polia:

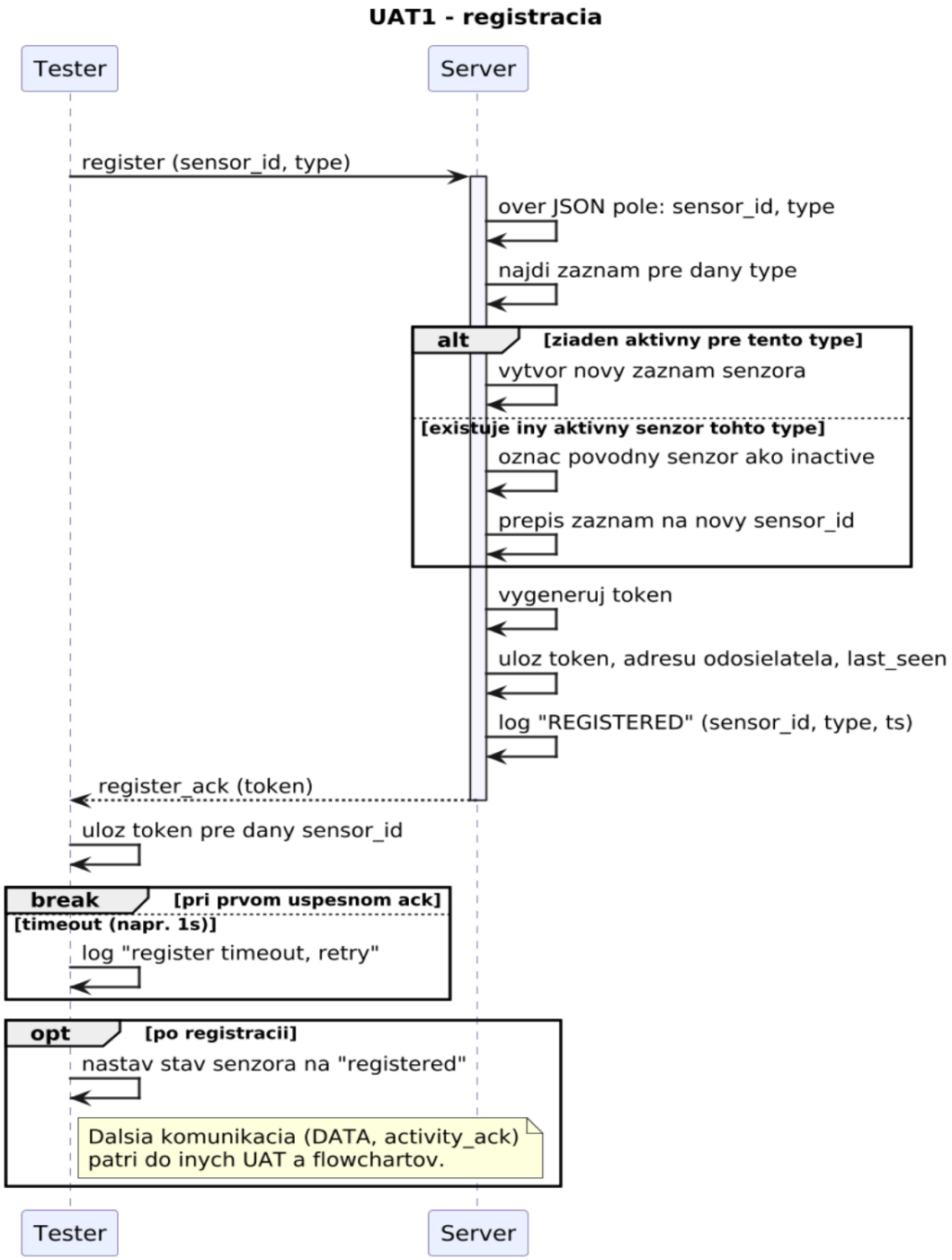
- type – "data"
- sensor_type – typ senzora
- sensor_id – identifikátor senzora
- token – token pridelený serverom
- timestamp – čas odoslania (v sekundách)
- low_battery – príznak nízkej batérie (true / false)

Príklad:

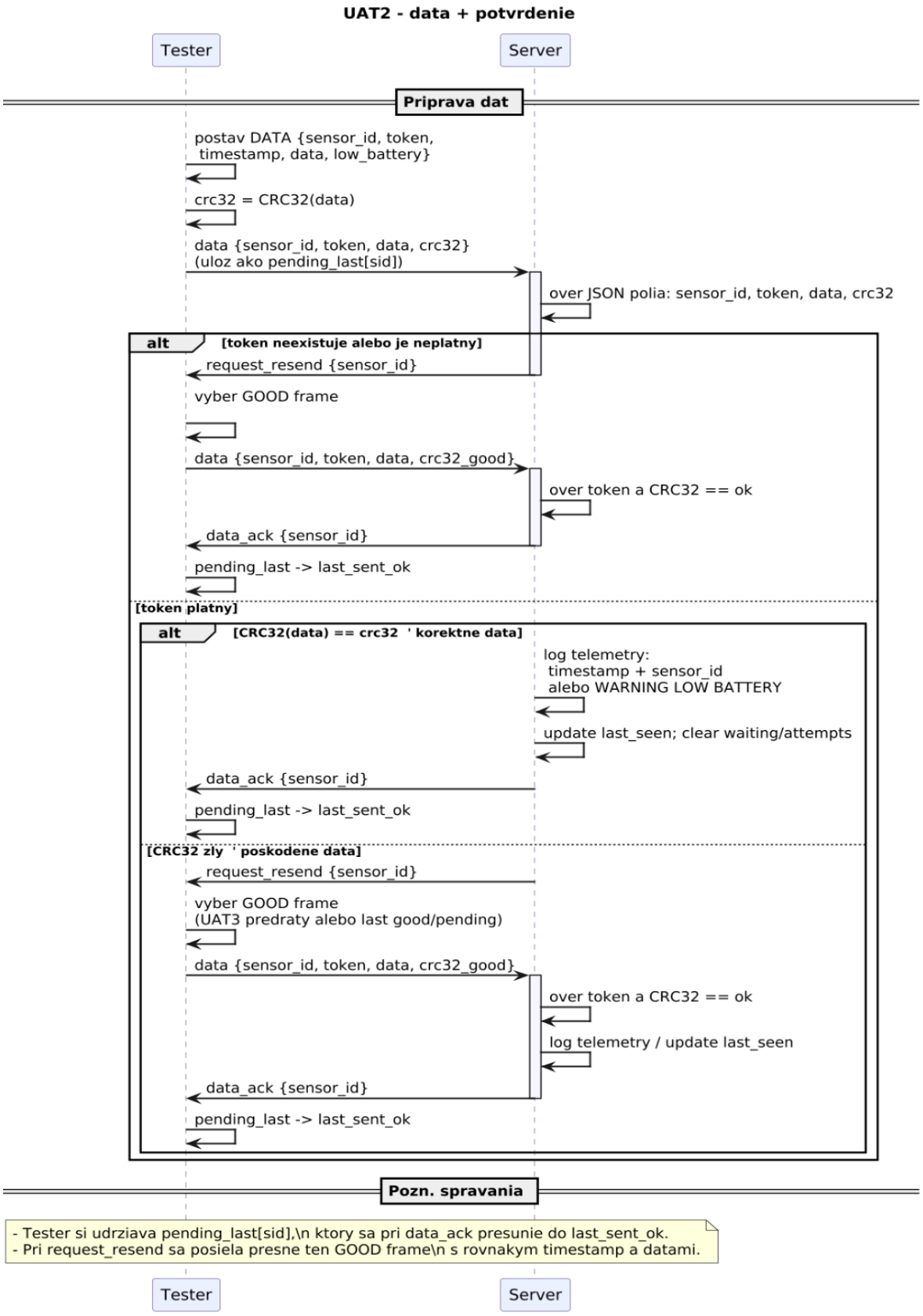
{ "type":"activity_ack", "sensor_type":"ThermoNode", "sensor_id":"T001",

"token":123456, "timestamp":1730458351, "low_battery":false }

Sekvenčné diagramy pre komunikáciu UAT1 a UAT2



Obrázok 5 Sekvenčný diagram UAT1



Obrázok 6 Sekvenčný diagram UAT2

Zoznam použitých knižníc

socket – UDP komunikácia (server aj tester).

json – serializácia/deserializácia správ.

threading – paralelné odosielanie/monitoring popri CLI.

random – generovanie testovacích/náhodných hodnôt (tester) + generovanie tokenov

time – použitie na timestamp (ak niečo ešte využíva sleep alebo timestamp).

Meranie efektivity prenášaných dát

Cieľ

Cieľom merania je určiť, akú časť prenášaných bajtov tvoria skutočné užitočné dáta (merania) a akú časť zaberá réžia protokolu a nižších vrstiev (UDP, IP, Ethernet). Výsledkom je efektivita prenosu v percentách.

Definície efektivity

η_data – podiel užitočných dát (len obsah data)
na celkovom počte bajtov prenesených po linke

$$\eta\_data = |data| / |on\_wire|$$

η_msg – podiel celej JSON správy
na celkovom počte bajtov prenesených po linke

$$\eta\_msg = |JSON| / |on\_wire|$$

Vrstva	Položka	Veľkosť [B]
Aplikačná	JSON správa	premenná
Transportná	UDP header	8
Sieťová	IPv4 header (bez options)	20
Linková	Ethernet II header	14
Linková	FCS	4
Linková	Preamble + SFD	8
Linková	IFG (inter-frame gap)	12

Celkové bajty „na linke“:

|on_wire| = 8 (Preamble + SFD)
+ [14 + max(46, 20 + 8 + |JSON|) + 4] (Ethernet rámec)+ 12 (IFG)

Ak je (20 + 8 + |JSON|) menšie ako 46, doplní sa padovanie na 46 B.

Postup merania

1. Zmeraj veľkosť JSON správy (bez medzier).
2. Skontroluj, či nie je potrebné padovanie (minimálna L2 payload = 46 B).
3. Spočítaj počet bajtov „na linke“ podľa vzorca vyššie.
4. Dosad’ do vzorcov η_data a η_msg.
5. Opakuj pre krátku a dlhšiu správu, aby bolo vidno rozdiel v efektivite.

Modelové príklady

A) Kratšia dátová správa

|JSON| = 180 B |data| = 56 B

20 (IP) + 8 (UDP) + 180 (JSON) = 208 ≥ 46 → bez padovania

on_wire = 8 + (14 + 208 + 4) + 12 = **246 B**

η_msg = 180 / 246 = **73.2 %**

η_data = 56 / 246 = **22.8 %**

B) Dlhšia dátová správa

|JSON| = 320 B |data| = 200 B

on_wire = 8 + (14 + (20 + 8 + 320) + 4) + 12 = **386 B**

η_msg = 320 / 386 = **82.9 %**

η_data = 200 / 386 = **51.8 %**

Možnosti zlepšenia:

- Zoskupovať viac meraní do jednej správy.
- Skracovať názvy polí v JSON alebo použiť binárny formát.
- Znížiť frekvenciu pingov a nepotrebných potvrdení.
- Odstraňovať z JSON medzery a zbytočné kľúče.

Záver

Riešenie pozostáva z dvoch programov – **servera** a **testera**, ktoré medzi sebou komunikujú cez **UDP** pomocou správ vo formáte **JSON**. Server spracováva registrácie, prijíma dáta, overuje ich integritu pomocou **CRC32** a priebežne kontroluje aktivitu senzorov prostredníctvom správ activity_check. Tester sa registruje, odosiela merania, reaguje na požiadavky servera a realizuje testovacie scenáre podľa zadania.

Všetky správy, sekvenčné aj vývojové diagramy zodpovedajú reálnemu priebehu komunikácie v kóde. Pri analýze efektivity sa potvrdilo, že najväčší podiel réžie tvoria hlavičky nižších vrstiev, zatiaľ čo efektivita prenosu rastie s dĺžkou dátovej časti. Riešenie spĺňa zadanie, je funkčné, prehľadné a pripravené na ďalšie rozšírenie.