

Network Time Protocol

Präzise Zeit Homemade

14. Juni 2016

Referent: Markus Heller, M.A.
DL8RDS

WHY! Tell me WHY!

- Moderne digitale Betriebsarten benötigen für den Betriebsablauf und Synchronisation bei Kodierung und Dekodierung digitaler Signale eine sehr genaue Zeitbasis!
- Manche Programme kommen mit Zeitsprüngen nicht zurecht und benötigen ein vorsichtiges „Housekeeping“ der lokalen Zeit
- Darüber hinaus sind interessante Experimente möglich...
- Beobachtung: Zeitsprünge von 1 Sekunde bei Produkten aus dem Hause Blackbox. Überlegungen zu NTP-Server-Modellen auf Mikrocontroller-Basis im Vergleich zu Geräten auf NTPd-Basis (Meinberg)

Images say more than words?



Eigenschaften Meinberg M300

- AMD Geode 500 MHz, 256MB RAM
- Linux mit PPSKit
- 10 MHz Ausgang
- Impulsgenauigkeit Abhängig von Oszillatoroption:
 - $< \pm 100\text{ns}$ (TCXO, OCXO LQ)
 - $< \pm 50\text{ns}$ (OCXO MQ, OCXO HQ, OCXO DHQ)
- Leistungsfähigkeit: Beantwortung von Tausenden NTP-Queries pro Sekunde als Anforderung

Zeit, philosophisch

- „Time was invented in the universe so that things don't all happen at the same time“
- „There Is No Such Thing As Time“ (Adam Frank)
→ Zeit ist eine Illusion (subjektiv)
- „Time has been invented by people unable to love“
→ Verwendung von Zeit
- Uhren als Disziplinierungswerkzeug (Heiner Haan)

Zeit, astronomisch

(<https://confluence.qps.nl/display/KBE/UTC+to+GPS+Time+Correction>)

- Zeit aus der Definition der Laufgeschwindigkeit von Gestirnen (Wie lange dauert ein Jahr?)
- Zeit aus der Definition der Umdrehungsgeschwindigkeit von Himmelskörpern
→ Achtung: Verlangsamung der Erdrotation!
- Mittlere / Wahre Ortszeit (Sonnenzeit)
→ Achtung: „Gleichzeitigkeit eines Bahnfahrplans“
- Universal Time (UTC/GMT)
- Universal Time (UT1) → Frühlingspunkt
- TAI (Internationale Atomzeit)

Zeit, physikalisch

(<http://www.hawking.org.uk/the-beginning-of-time.html>)

- Raum-Zeit (Vereinigung von Raum und Zeit in einer einheitlichen vierdimensionalen Struktur. Sie ist in der Relativitätstheorie dargelegt.)
- Raum-Materie
- Zeit als Funktion der Materie, Injektiv? Bijektiv? Linear?
- Materie als Funktion der Zeit?
- Bedeutung der Lichtgeschwindigkeit als Verbindung zwischen Raum und Zeit

Zeit, informatisch

- Systemtakt (Prozessortakt)
- Real Time Clock (Zeit während ausgeschaltetem Zustand)
- RTC auf UTC-Basis?
- Tzconfig / tzdata (env)
- NTP: Network Time Protocol
- SNTP: Simple Network Time Protocol
- Windows Time Service (Sync nur alle 8 Stunden, nur 1 Source!!!)
- Ntimed: Neue Entwicklung als NTP-Client seit 2014
- PTP: Precision Time Protocol (IEEE 1588-2002, IEEE 1588-2008)
- EPOCH

Zeit, nachrichtentechnisch / elektronisch

- „Fluggeschwindigkeit“ einer Welle: 300km/ms, 300m/us, 30cm/ns
→ extrem wichtig für Radar- und Peilanwendungen
- Frequenznormale erzeugen 10 MHz-Takt, aber auch PPS
- PPS und Frequenzerzeugung sind zwei Seiten derselben Sache
- Ripple Carry Counter: Überlauf nach 10 Mio Schwingungen, PPS-Trigger bei Überlauf
- Rubidium-Frequenznormale beziehen Zeit aus der bekannten Resonanz des Rubidiums, dann Herunterrechnung auf Normfrequenz von 10 MHz
- Atomuhren arbeiten mit Cäsium statt Rubidium, ähnliches Verfahren
- Auch Atomuhren sind nicht „stabil“!!!
→ Uhr hinter DFC77 wandert 1,5 ns/ Tag

Zeit, als Produkt von NTP

- Liest nicht die Zeit aus (Wichtig!)
- **NTPD ordnet angenommenen Momenten ein „Zeit-Label“ zu**
- Zeit als Prozessfunktion (Prozesstakt)
mit starker Nutzung der Prozessorzyklen (Kernelzeit)
daher in Konkurrenz zu anderen Systemprozessen
- Anfrage an den NTPD, welches Label der „jetzige Moment“ hat.
Antwort: Datum+Uhrzeit+Millis+Mikrosekunden
- Kernel kann einer Anwendung PPS zur Verfügung stellen,
benötigt aber eine Quelle
- Anpassung der NTP-Zeit falls notwendig, Überspringen oder
Einfügen von Zeiteinheiten
→ Slew Rate, Leap Seconds

Zeit, im Netz

- NTP als Abgleichsprotokoll, Port 123 UDP
- SRC und DST verwenden selben Port
- Synchronisation mit dem Pool
- Messung der Netzwerklatenz und Verrechnung mit lokal geführter Zeit
- Intendierte Präzision: wenige Millisekunden
- 2 μ S möglich mit PPS, 20 μ S übers Netz (David Mills:
<https://www.eecis.udel.edu/~mills/database/brief/precise/precise.pdf>)

Zeit, im Netz, mit Latenzen

- Dave Mills' Überlegungen zur Quelle von Latenzen: Vergleich von PPS-disziplinierten und vernetzten NTPDs
- Berechnung von Crypto-Summen, Output Wait, Network latency, Input Wait, Crypto-Summen
- Höchste Latenz-Quelle in der Berechnung der Crypto-Summen und Input Wait
- Kurzzeit-Stabilität und Langzeit-Stabilität:
 - oscillator wander

Zeit, als Nebenprodukt des GPS-Systems

- Empfang auf 1575 MHz
- Bekannte Ephemeridendaten (Almanach)
- Satelliten tragen Atomuhren
- Satelliten senden „Zeitzeichen“
- Anhand des Laufzeitversatzes kann ein GPS-Empfänger seine Position berechnen
- Laufzeitversatz erlaubt Rückrechnung auf GPS-Systemzeit

Zeit, als Nebenprodukt des GPS-Systems

- Auch die GPS-Zeit ist nicht beliebig präzise!
 - theoretische Accuracy 14ns
 - üblich 100ns durch Berechnungslatenzen
- Trimble Resolution T: 12ns Accuracy (?)
 - $1\text{ns} = 30\text{cm} \Leftrightarrow 3,6\text{m}$ Ortungspräzision
- Jitter im 1-stelligen Mikrosekundenbereich ist locker drin!

Zeit, und Bewertungsmaßstäbe für Qualität

(<http://www.ntp.org/ntpfaq/NTP-s-sw-clocks-quality.htm>)

- The smallest possible increase of time the clock model allows is called **resolution**. If your clock increments its value only once per second, your resolution is also one second.
- A high resolution does not help you anything if you can't read the clock. Therefore the smallest possible increase of time that can be experienced by a program is called **precision**.

In NTP precision is determined automatically, and it is measured as a power of two. For example when `ntpq -c rl` prints `precision=-16`, the precision is about 15 microseconds (2^{-16} s).

If you like formal definitions, consider this one: "Precision is the random uncertainty of a measured value, expressed by the standard deviation or by a multiple of the standard deviation."

- When repeatedly reading the time, the difference may vary almost randomly. **The difference of these differences (second derivation) is called jitter.**
- A clock not only needs to be read, it must be set, too. **The accuracy determines how close the clock is to an official time reference like UTC.**

Again, if you prefer a formal definition: "Accuracy is the closeness of the agreement between the result of a measurement and a true value of the measurand."

- Unfortunately all the common clock hardware is not very accurate. This is simply because the frequency that makes time increase is never exactly right. Even an error of only 0.001% would make a clock be off by almost one second per day. This is also a reason why discussing clock problems uses very fine measures: **One PPM (Part Per Million) is 0.0001% (1E-6).**

Real clocks have a frequency error of several PPM quite frequently. Some of the best clocks available still have errors of about 1E-8 PPM (For one of the clocks that is behind the German DCF77 the stability is told to be 1.5 ns/day (1.7E-8 PPM). See <http://www.ptb.de/english/org/4/43/432/real.htm> or http://www.ptb.de/en/org/4/44/441/real_e.htm).

- Even if the systematic error of some clock model is known, **the clock will never be perfect**. This is because the frequency varies over time, mostly influenced by temperature, but it could also be air pressure or magnetic fields, etc. **Reliability determines the time a clock can keep the time within a specified accuracy.**
- For long-term observation one may also notice variations in the clock frequency. The difference of the frequency is called wander. Therefore there can be clocks with poor short-term stability, but with good long-term stability, and vice versa.

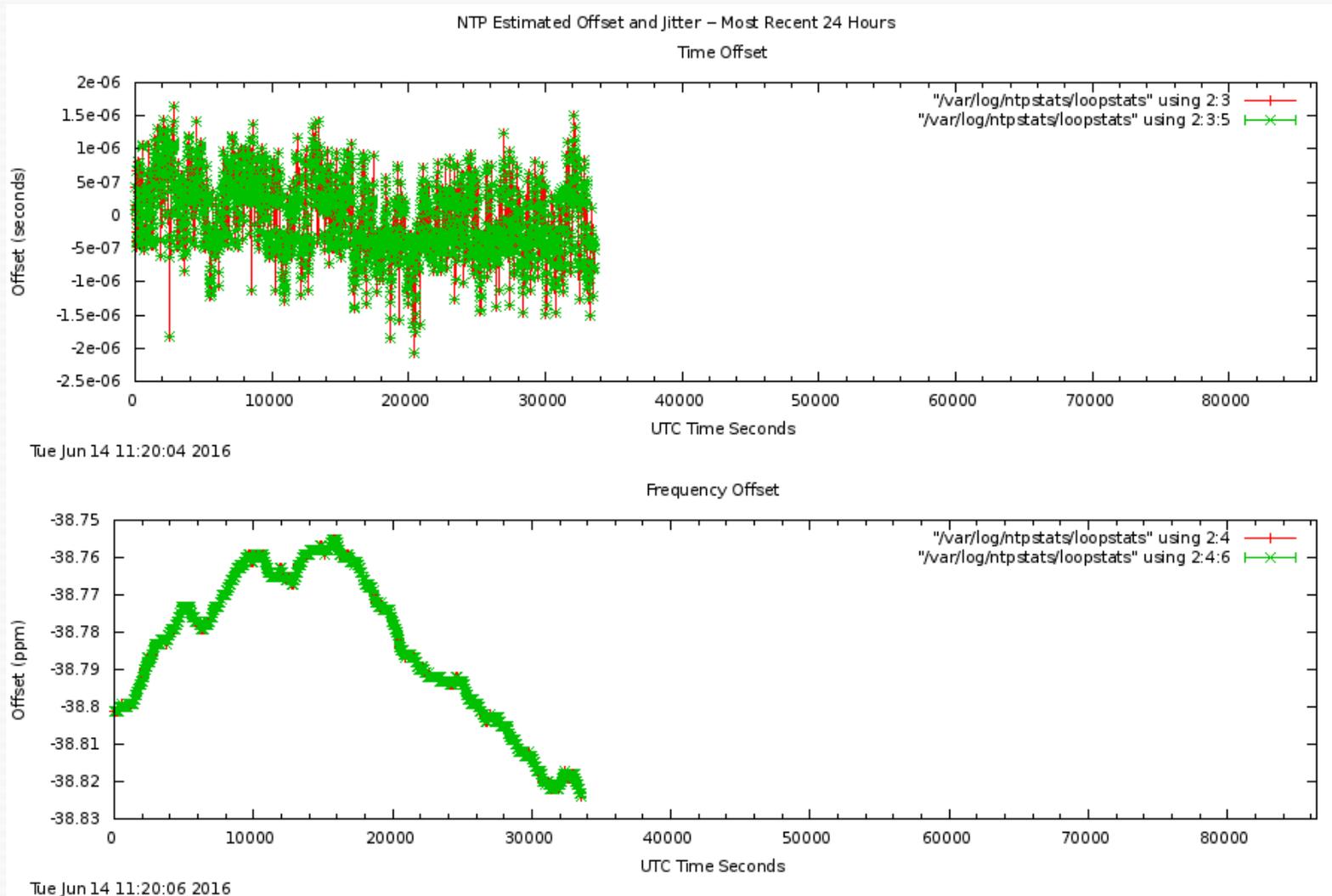
Zeit, und deren Fehler

Frequency error

- 12 PPM == 1 Sekunde / Tag:
→ $12 * 86.400.000\text{ms} / 1.000.000 = 1.036\text{ms}$
- 500 PPM == 43 Sekunden / Tag
- 1 Stunde → 15 Grad Erddrehung
- 1 Minute → 15 Winkel-Minuten Erddrehung
- 1 Sekunde → 15 Winkel-Sekunden Erddrehung
- Äquator: 1 Minute falsch → 15sm Offset (30km)
1 Sekunde falsch (12PPM) → 488m Offset (Winkelgeschwindigkeit am Äquator: 488m/s)
- Quartzuhr: 2-3 PPM, 10 Sekunden / Monat
- Meinberg GPS176: 0,5 PPM / Jahr, 43ms/Tag = 16s/Jahr
- RaspberryPi Systemuhr: ca 38 PPM, dazu barometrische Abhängigkeit

Zeit, und deren Fehler

Mein gemessener Frequency error



Zeit, und deren Anwendung

- Synchronisierung von Schreibprozessen (Logs, Transaktionen)
- Verteilte Verarbeitung von HF-Daten (Massiv Paralleles Peilen)
- Verteilte Empfänger mit lokalen höchstpräzisen Borduhren (in Erdumlaufbahnen!!?!!)
→ WTF!!!!!!

GPS-Receiver

- Fast alle GPS-Empfänger liefern PPS
- Zeit-Information via NMEA-Frame
- PPS via eigene Leitung, CMOS-Levels (5V)
- Raspi: 3,3V, daher teilweise Diodensicherung notwendig, zumindest im Fall des Trimble Resolution T
- Kernel muß konfiguriert werden, PPS auf GPIO-Pin zu verarbeiten (Kernel Discipline)
 - `ppstest /dev/pps0`
- Zeit-Information entweder über `ttyAMA0` via NMEA 4800 8N1 oder TSIP (Trimble)

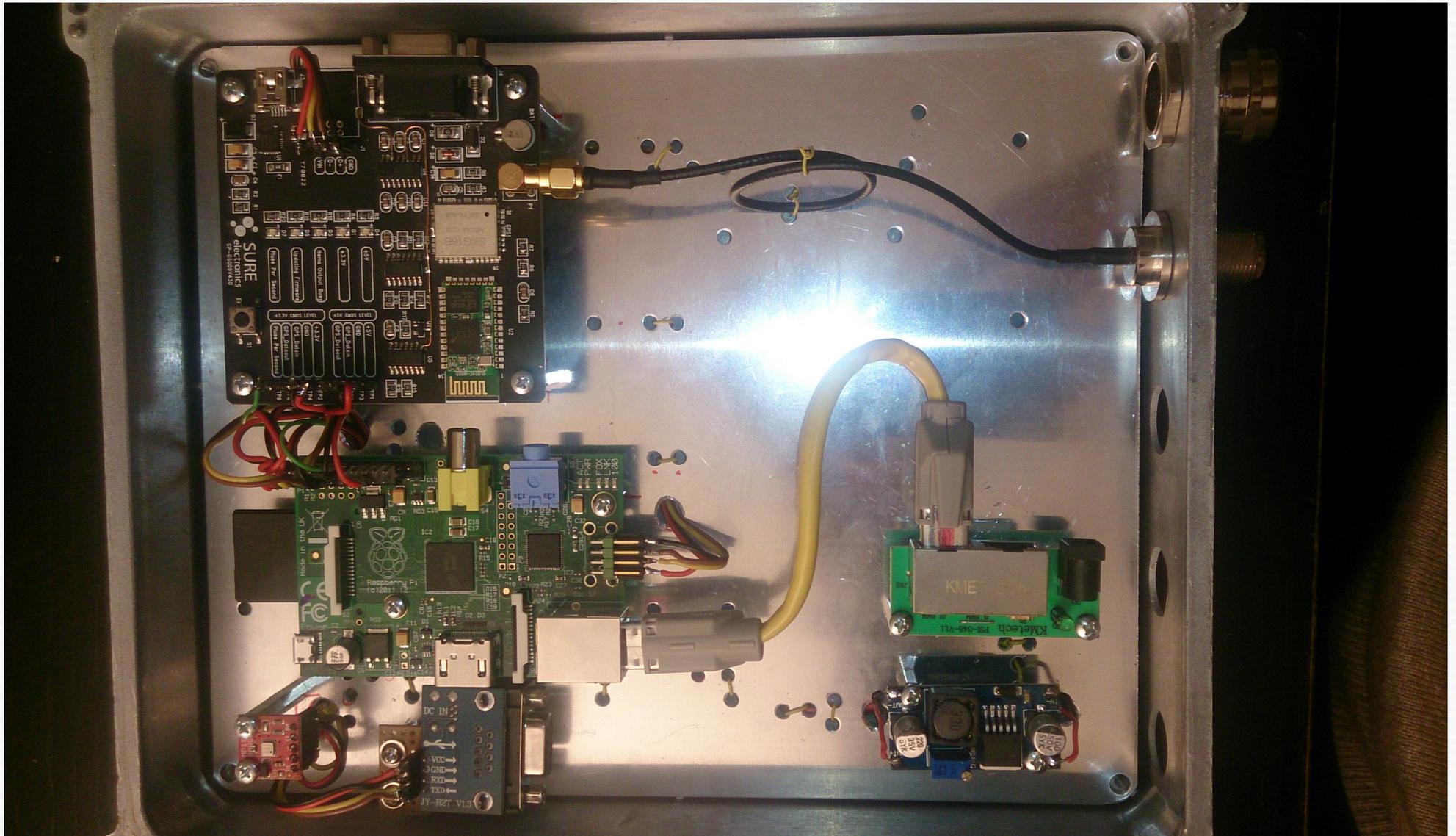
NTP-Driver

- NTPD unterstützt zahlreiche Treiber
 - Für lokale clocks
 - Für Standard-NMEA (\$GPGGA)
 - Für TSIP (Palisade)
 - Für zahlreiche andere Protokolle
- Adressierung via 127.127.x1.x2, wobei x1=TreiberID, x2=Interface-Nummer
- Optionen für Fudge usw.

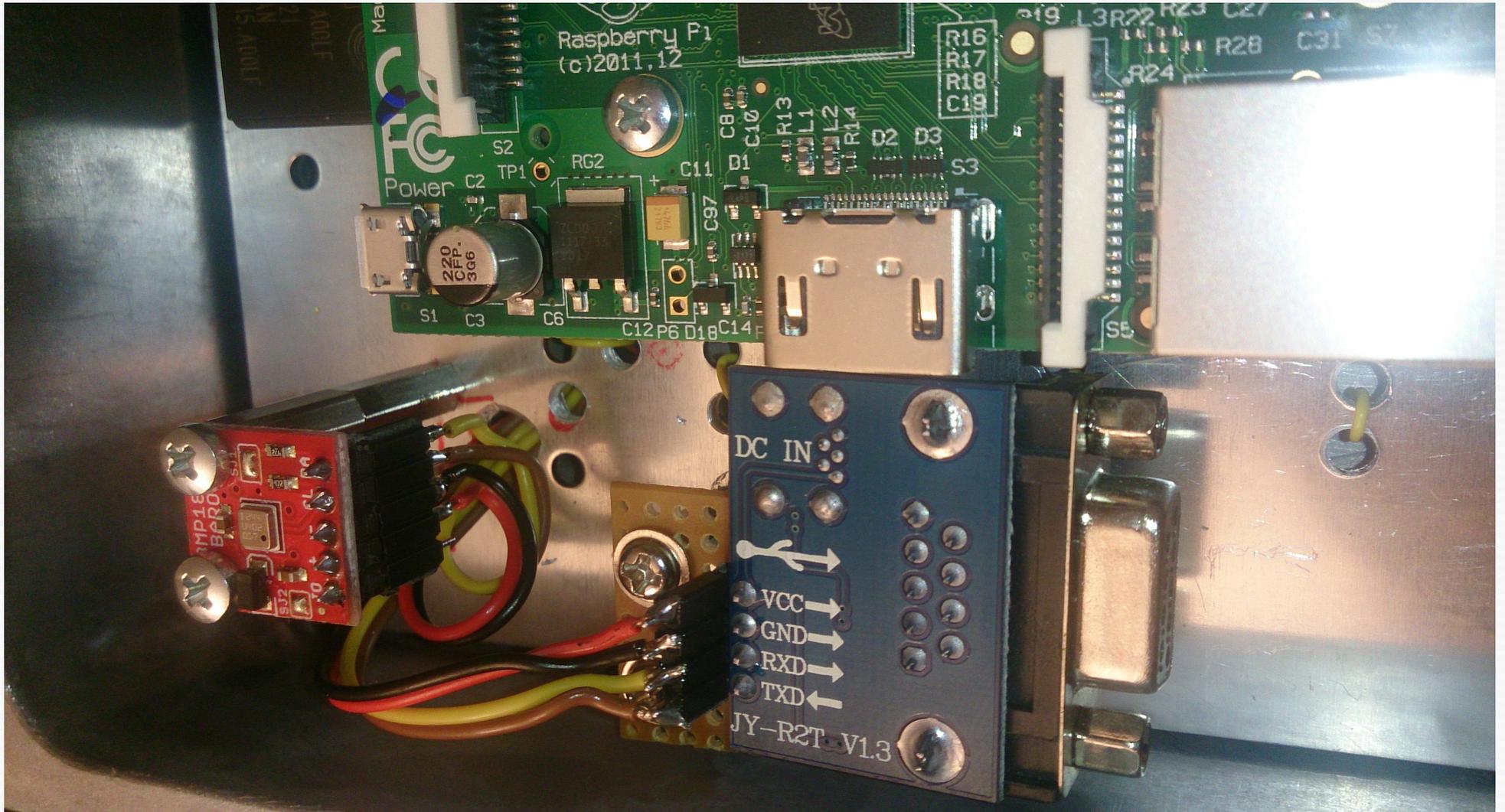
NMEA-Beispiel

- \$GPGGA,191410,4735.5634,N,00739.3538,E,1,04,4.4,351.5,M,48.0,M,,*45
- \$GPGGA,191410,4735.5634,N,00739.3538,E,1,04,4.4,351.5,M,48.0,M,,*45
- ^ ^ ^ ^^ ^ ^ ^
- | | | ||| | |
- | | | ||| | Höhe Geoid minus
- | | | ||| | Höhe Ellipsoid (WGS84)
- | | | ||| | in Metern (48.0,M)
- | | | ||| | | | | ||| Höhe über Meer (über Geoid)
- | | | ||| | in Metern (351.5,M)
- | | | |||
- | | | || HDOP (horizontal dilution
- | | | || of precision) Genauigkeit
- | | | ||
- | | | | Anzahl der erfassten Satelliten
- | | | |
- | | | Qualität der Messung
- | | | (0 = ungültig)
- | | | (1 = GPS)
- | | | (2 = DGPS)
- | | | (6 = geschätzt nur NMEA-0183 2.3)
- | | |
- | | Längengrad
- | |
- | Breitengrad
- |
- Uhrzeit

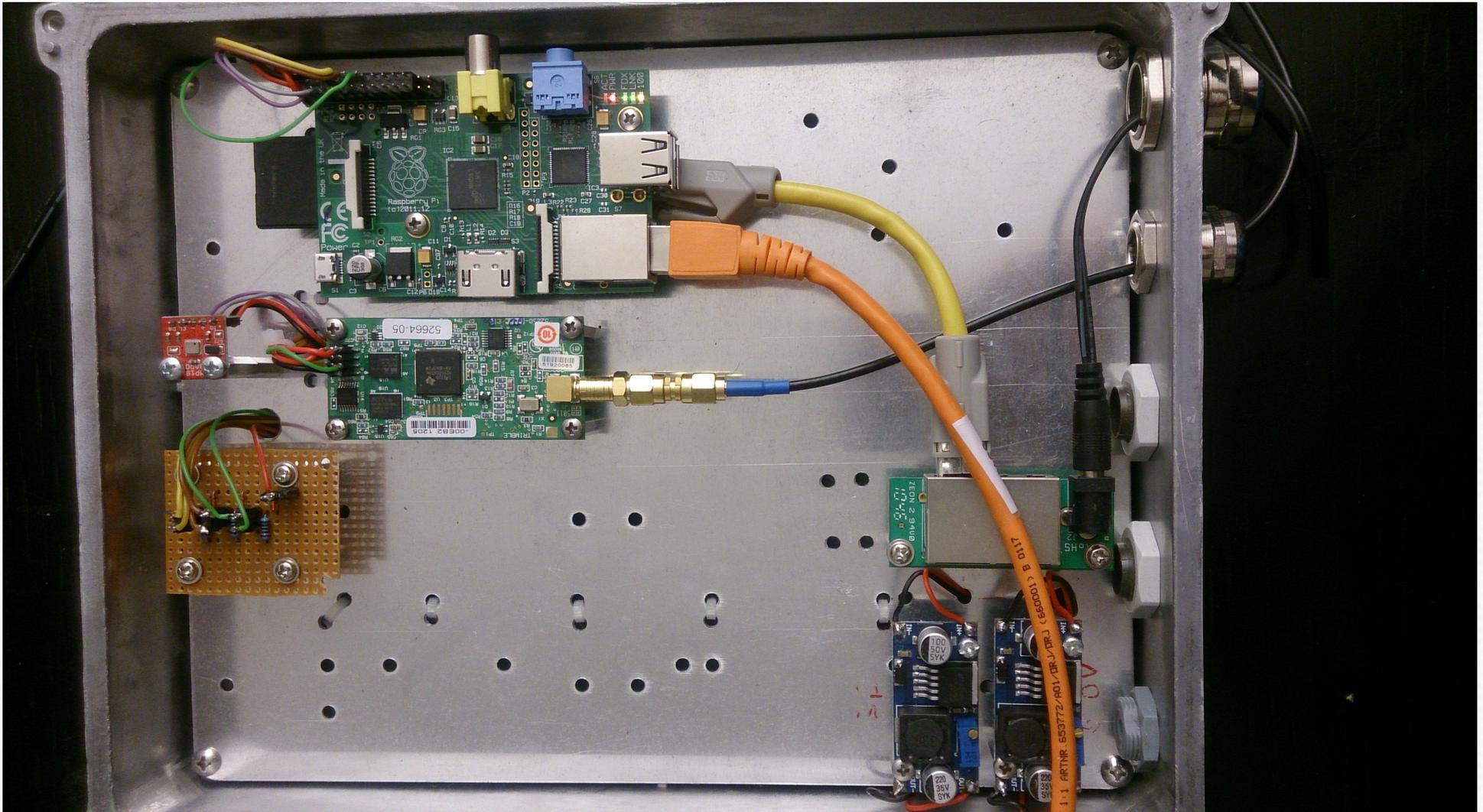
RaspberryPi und Sure Electronics GPS (1)



RaspberryPi und Sure Electronics GPS (2)



RaspberryPi und Trimble Resolution T



Weitere Ideen

- Aufbau einer weiteren Uhr mit Motorola Oncore GT (alter Chipsatz)
- Aufbau von Uhren am selben Standort zur Minimierung der Netzwerklatenzen samt gegenseitigem Abgleich (how far can you go?)
- Korrelation mit Temperatur und Luftdruck
- Verbesserung der Accuracy in den Nanosekundenbereich (?)
- Einbindung eines Rubidium-Normals als sekundärer PPS

Links

- http://www.hopf.com/de/dcf77-gps_de.html
- http://www.dl8rds.de/index.php/NTP-Server_with_Raspberry_Pi_and_Sure_Electronics_GPS_Eval_board
- <https://www.meinberg.de/german/products/1he-ntp-server-19-zoll-rack.htm>
- <https://www.eecis.udel.edu/~mills/ntp/html/ntpd.html>
- <http://www.satsignal.eu/ntp/Raspberry-Pi-NTP.html>

Fragen?

Keine? :-)

Hinweis: <http://www.dl8rds.de>

Danke!

Vy73
markus, dl8rds