

Projekt

Alpenrouter

Netidee Projekt Nr. 51131

Endbericht

Erstellt von Roland Jankowski

Email: roland@xaok.org

17. Mai 2011

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung.....	1
2. Komponenten.....	1
2.1 System-on-Chip	1
2.1.1 Silex SX-560.....	2
2.1.2 FOX Board G20.....	3
2.2 Wifi Module.....	5
2.2.1 Ralink rt3070 Wifi Modul.....	5
2.3 Stromversorgung.....	6
2.3.1 Stromerzeugung.....	6
2.3.2 Energiemanagement.....	6
2.3.3 Stromspeicherung.....	7
3. Entwicklung im Jahr 2011.....	8
CPU.....	8
Speicher.....	8
Schnittstellen.....	8
4. Zusammenfassung.....	9

1. Einführung

Ziel des Projektes „Alpenrouter“ ist die Entwicklung eines energieautarken Funkrouters mit möglichst geringen Wartungsintervallen und Standzeiten.

Bestehende Plattformen und ähnliche Projekte wie „Treerouter“ wurden bei der Auswahl und Entwicklung der Komponenten berücksichtigt. Ein Schwerpunkt lag bei der Evaluierung neuer Chip Generationen und Akkumulortechniken. Als komplex und zeitintensiv erwies sich die Entwicklung eines Mikrocontroller basierten Energiemanagement Moduls.

2. Komponenten

2.1 System-on-Chip

Gefordert sind eine gewisse CPU Leistung um die Wifi Module, die Packetvermittlung im Linux Kernel und systemnahe Applikationen wie Routingprotokolle zu betreiben, möglichst geringer Stromverbrauch und entsprechende Schnittstellen (seriell, USB, ev. SDIO).

Hohe Integration von CPU und Chipsatz sind notwendig um den Stromverbrauch zu senken. In Kombination mit der Leistungsanforderung sind aktuell nur CPUs der ARM Familie interessant.

CPU	MHz	Dhrystone MIPS	mW	mW/MHz	D-MIPS/W	erhältliche Hardware
AMD Geode	500	1000	2000	4	500	ALIX Board, pc104 Boards
ARM9-20T	200	220	260	1,3	830	Mobiltelefone, SX-560
ARM9 AT91SAM9G20	400	450	50	0,13	5500	Smartphones, Boards wie FOXG20
ARM11	600	780	360	0,6	2000	iPhone 3G
ARM Cortex A8	1100	1500	500	0,45	3500	iPhone 3GS, Smartphones, Netbooks
ARM Cortex A5	480	700	60	0,12	13000	Mobiltelefone
AVR32	150	210	150	1	1400	Atmel embedded Boards

Stromverbrauch bezogen auf CPU plus Chipsatz ohne RAM

Es wurden 2 bereits am Markt erhältliche SoC evaluiert. Das Silex SX-560 und das FOX Board G20 von der italienischen Firma ACME Systems als Vertreter der aktuellen ARM AT91SAM9G20 SoC Generation.

2.1.1 Silex SX-560

Aufgebaut rund um eine Samsung S3C2412XL-20 CPU mit 200MHz wurde dieses 34x50mm kleine SoC mit SDIO Port und USB 1.1 Hostinterface zusammen mit einem Atheros AR6001 SDIO Wifi Modul evaluiert.



Leistungsaufnahme	Status
158 mW	Leerlauf ohne Wifi Modul
165 mW	Leerlauf mit Wifi Modul im client mode im Schlafmodus
643 mW	Wifi in der Ad-Hoc Betriebsart, keine Datenübertragung
907 mW	full RX 802.11b/g, max. 7,5 MBit Durchsatz
957 mW	als Layer3 Wifi Router mit 4Mbit Durchsatz
1006 mW	full RX/TX Wifi auf 1 dB Sendeleistung
1089 mW	full RX/TX Wifi auf 14 dB Sendeleistung
1237 mW	wie oben plus 100% CPU Load

POSITIV

- relativ niedriger Stromverbrauch des gesamten SoC
- SDIO-Wifi im Schlafmodus verbraucht nur ca. 2 mA

NEGATIV

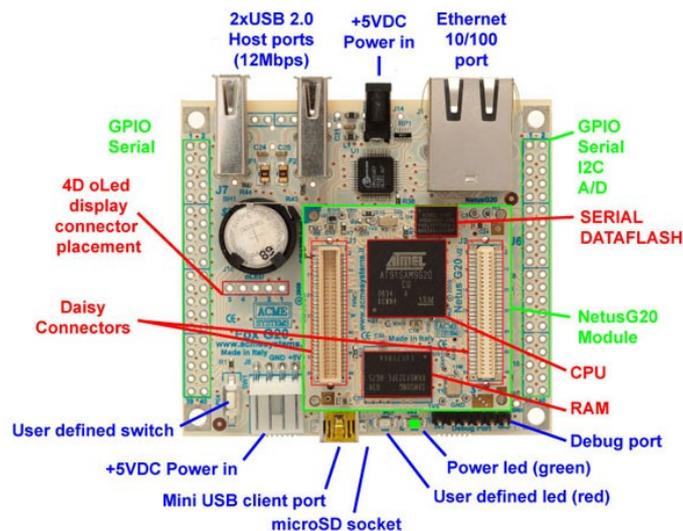
- SDIO Wifi verursacht hohe CPU Last und limitiert somit Durchsatz
- CPU für die SDIO-Wifi Last zu langsam, würde in etwa 400Mhz benötigen um volle 802.11g Geschwindigkeit zu erzielen.
- CPU Stromverbrauch für die geringe Taktfrequenz im Vergleich zu moderneren ARM9 SoC etwas hoch.

Fazit

Das Silex SX-560 SoC bietet also nicht genügend CPU Leistung um eine Relaisstation mit >5Mbit Datendurchsatz zu realisieren. Die Evaluierung wurde mit dieser Erkenntnis beendet.

2.1.2 FOX Board G20

Als Vertreter der im Jahr 2010 aktuellen AT91SAM9G20 basierter Boards wurde das Fox G20 evaluiert. Es besteht aus dem Netus CPU Modul mit RAM, Flash und CPU und der Hauptplatine mit Power Supply und den physischen Anschlüssen. Durch die prototyping-freundlichen Lötunkte und erhältlichen Prototyping Boards und Stiftleisten und die Vielzahl der realisierbaren Schnittstellen ist das FOX G20 ganz gut für Entwicklung geeignet.



Leistungsaufnahme	Status
285 mW	Leerlauf
475 mW	100% CPU Last
525 mW	Leerlauf mit Ethernet
710 mW	100% CPU Last, Ethernet Aktivität (Durchsatz hat keine Einwirkung)

Wird das G20 mit 3.45V statt 5.0V stabilisiert betrieben sinkt die Leistungsaufnahme um ca. 20-25%. Dies ist einerseits erklärbar durch das Power Supply am G20 welches bei Eingangsspannungen unter 5V die Spannung nicht mehr an die USB Ports weiterleitet. Einen größeren Einflussfaktor vermuten wir allerdings im Power Supply selbst da dessen Komponenten nicht auf maximale Effizienz ausgelegt sind.

POSITIV

- Die Trennung CPU Modul und Hauptplatine erlaubt eine eigens entwickelte Hauptplatine nur mit den benötigten Komponenten - in unserem Falle PSU, microSD, USB, Serial und ev A/D Wandler - zu verwenden. Somit könnte der Stromverbrauch durch optimale DC-DC Wandler und Wegfall unnötiger Komponenten nochmals optimiert werden.
- viele unterschiedliche Schnittstellen realisierbar
- öffentliche Dokumentation von Hersteller und Benutzern im Wiki des Herstellers
- Patches für Debian und OpenWRT. Beide OS laufen ohne Probleme auf dem Board
- gute Verfügbarkeit, gegenüber industrieller Evaluation Kits angemessener Preis

NEGATIV

- PSU am FOX G20 wandelt die 1,8V CPU Spannung linear statt mit einem effizienten DC-DC stepdown. Die Hauptplatine verbraucht im Vergleich zur CPU relativ viel Strom.
- USB 2.0 Anschlüsse bieten lediglich 12MBit Datendurchsatz

Fazit

Bis auf die 2 angeführten negativ Punkte ist das FOX G20 gut geeignet für den Alpenrouter. In Q3/2010 waren bereits die ersten Evaluation Kits für den Nachfolger des AT91SAM9G20 für industrielle Partner von ATMEL erhältlich. Der AT91SAM9G45 Chipsatz verfügt über High Speed USB 2.0 Ports mit 480Mbit Durchsatz. Es ist anzunehmen das im Laufe 2011 mehrere Boards mit diesem Chipsatz auf den Markt kommen. Der Hersteller des FOX G20 hat ebenfalls ein Board mit dem G45 Chipsatz angekündigt, allerdings ohne einen Konkreten Liefertermin zu nennen. (Stand Jänner 2011)

Die Entwicklung des Alpenrouters wird also mit dem G20 Board fortgesetzt, bei Verfügbarkeit des nahezu identen G45 Chipsatzes soll dieser eingesetzt werden - worauf sich der Datendurchsatz steigern wird und die Leistungsaufnahme um 0-20% sinken kann. Das Power Supply des G20 neu zu entwickeln wäre eine Möglichkeit den Stromverbrauch zu senken, wurde allerdings aufgrund der Komplexität und des Zeitaufwandes verworfen.

2.2 Wifi Module

Wifi wird über ein Bussystem angebunden. In die engere Auswahl kommen mini-PCI, mini-PCI-express, SB, SDIO und SPI da für diese Bussysteme aktuell Wifi Module erhältlich sind. Die typische Leistungsaufnahme von unmodifizierten Wifi Modulen bewegt sich zwischen 450 - 1500 mW. Mit Modifikationen an DC-DC Wandlern und Versorgungsspannung sind 350-450 mW bei üblichen Durchsätzen machbar. Bei einer Relaisstation mit 2 Wifi-Modulen ist also der Funk der größte Verbraucher. Die meisten WLAN Chipsätze unterstützen Stromsparfunktionen die je nach Anwendungsfall signifikante Einsparungen bewirken. Allerdings unterstützen die existierenden Linux Treiber diese Funktionen nur unzureichend. Hier gibt es noch Optimierungspotential.

Weiters sind längerfristige Praxistest erforderlich um die Funkeigenschaften und Stabilität des Treibers bewerten zu können.

Das für den Alpenrouter favorisierte Wifi Modul basiert auf dem Ralink rt3070 Chipsatz.

Bei Prototyp 2 werden wir auch eine Atheros AR9271 basiertes Modul testen. Dieses Modul hat höheren Stromverbrauch als rt3070 dafür aber einen bereits im Langstrecken Funkbetrieb erprobten Treiber.

2.2.1 Ralink rt3070 Wifi Modul

Dieser 802.11n Wifi Chip hat brauchbare Treiber - allerdings ohne Stromsparfunktion - einen guten Durchsatz, relative geringen Stromverbrauch und ein sehr gutes Preis/Leistungsverhältnis.

Leistungsaufnahme	Status
0.5 mW	USB suspend mittels echo suspend > /sys/bus/usb/devices/1-1/power/level
420 mW	client mode, Leerlauf
610 mW	client mode, 60 MBit tcp-stream TX (Sendeleistung keine Einwirkung)
445 mW	ad-hoc mode, Leerlauf
600 mw	ad-hoc mode, 10MBit tcp-stream TX

Ein Vergleich mit dem Windows Treiber zeigt das bei Leerlauf der Verbrauch unter Windows auf unter 10 mW zurückgeht.

Inzwischen gibt es auch eine Nachfolgeversion, den rt3370 welche treiberkompatibel ist.

den rt3370 werden wir in Q1/2011 testen.

Fazit

Größtes Problem liegt hier beim Treiber. Speziell der Leerlaufverbrauch im client-mode wirkt sich sehr ungünstig auf den Energiehaushalt des Alpenrouter aus. Die rt3070 Treiber sind seit Q4/2010 im Linux Mainline Kernel was auf zukünftige Erweiterungen und Bugfixes hoffen lässt.

2.3 Stromversorgung

Aufgrund der tiefen Temperaturen und rauen Wetterbedingungen stellt die Stromversorgung eine besondere Herausforderung für die Entwicklung des Alpenrouter dar.

2.3.1 Stromerzeugung

Zur Stromerzeugung werden handelsübliche Solarpaneele eingesetzt. Gut erprobt in Alpinen lagen und ohne bewegliche Teile stellen sie einen guten Kompromiss dar. Orkanartige Stürme und Abschattung durch Vereisung oder Schneeverwehungen sind jedoch ein Ausfallsrisiko das nur durch eine zweite andersartige Stromquelle zu eliminieren wäre.

2.3.2 Energiemanagement

Es wurden folgende Anforderungen definiert:

- Laderegulung und Überwachung
MPP-Tracking zur Maximierung Solarzellenleistung, effiziente Spannungswandler
- Kontrollierte (Teil-)Abschaltung der Routerboards
die Verbraucher sollen unter bestimmten Vorbedingungen zu definierten Zeiten abgeschaltet werden um die Verfügbarkeit zu anderen Tageszeiten zu maximieren. Diese Bedingungen sind Akkuladung, Jahreszeit und optional auch externe Datenquellen mit Prognosen zur Sonneneinstrahlung am Standort.
- Hardware Watchdog für Routerboard
Bleibt das Linux Routerboard zb. wegen fehlerhafter Wifi Treiber stehen wird es

kaltgestartet.

- optional Messdatenerfassung wie Temperatur und Sonneneinstrahlung

Mitte 2010 wurde begonnen eine eigene Schaltung auf Basis eines AVR Mikrocontrollers zu entwickeln. Der langwierige Entwicklungsprozess und Rückschläge haben uns Ende 2010 dazu bewogen auf eine Eigenentwicklung zu verzichten und ein verfügbares Mikrocontroller basiertes Energiemanagement Modul auszuwählen das möglichst nahe an unsere Anforderungen ist. Aktuell haben wir mehrere mögliche Modelle identifiziert und werde in kürze 2 Module beschaffen.

2.3.3 Stromspeicherung

Bleigel Akkumulatoren wurden in den letzten Jahren wohl am häufigsten mit PV Inselanlagen verwendet. Bei sehr tiefen Temperaturen um -35°C sinkt deren nutzbare Leistung und Kapazität unter 50% des Nominalwertes. Der Wirkungsgrad eines Lade/Entladezyklus bei -35°C ist auch bei hochqualitativen Akkus lediglich 60-70%. Bei $+20^{\circ}\text{C}$ liegt dieser Wirkungsgrad bei etwa 85%.

Darum haben wir mir aktuellen Akkutechnologien verglichen um eine bessere Lösung für den Alpenrouter zu finden. Mittels einer leistungsfähigen Gefriertruhe wurden Messreihen bei -35°C mit NiMh+ (Varta), LiFePo4 (a123, Thundersky), Li-Ion, und Bleigel Akkus (Enersys Cyclon) durchgeführt.

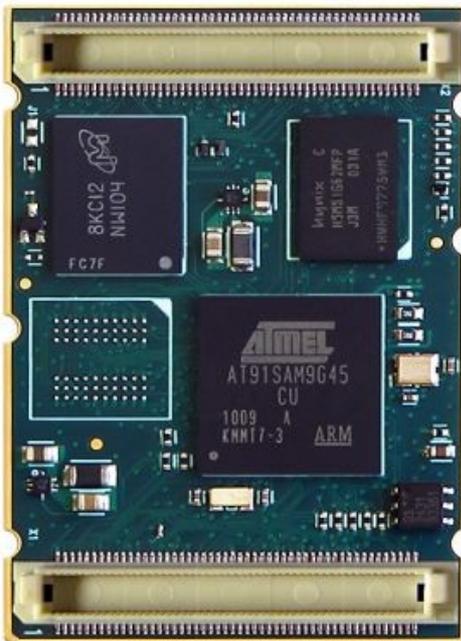
Fazit

Als geeignet hat sich der prismatische a123 LifePo4 Akku erwiesen da er sowohl bei nutzbarer Leistung (71%) als auch Kapazität (80%) überlegen ist. Der Wirkungsgrad ist abhängig von der Intensität des Zyklus. So kann ein Wirkungsgrad von über 95% bei $+20^{\circ}\text{C}$ erreicht werden wenn sich der Zyklus nur über die ersten 40% der Nominalleistung erstreckt. Nutzbar unter alpinen Bedingungen sind auch Bleigel oder NiMh+ Akkumulatoren, jedoch mit geringerem Gesamtwirkungsgrad.

3. Entwicklung im Jahr 2011

Die ersten Atmel G45 basierten System-on-Chip Boards sind seit Q2/2011 am Markt erhältlich. Die Evaluation Boards sind noch eher hochpreisig, im Laufe des Jahres wird sich das Preisniveau auf ein interessantes Niveau senken.

Momentaner Favorit ist das StampG45 Board von der Firma taskit aus Berlin.



CPU

- Atmel® AT91SAM9G45 mit ARM926EJ-S Prozessorkern
- "Jazelle" Embedded Java Beschleuniger
- MMU (Memory Management Unit)
- 400 MHz

Speicher

- 128 MB DDRAM (optional bis zu 512 MB)
- 128 MB NAND-Flash (optional bis zu 1 GB)

Schnittstellen

- 10/100 Ethernet MAC
- USB High Speed
- 1 x USB Host
- 1 x USB Device
- 1 x USB OTG (Host + Device)
- bis zu 5 serielle Schnittstellen (USART / UART)
- MicroSD Card Slot
- Externes SD-Card Interface
- 1 x SPI
- 3 x PWM
- bis zu 100 digitale I/O-Ports

Aufgrund von Verpflichtungen in meinem Angestelltendienstverhältnis war es mir noch nicht möglich die G45 basierten Boards ausreichend zu evaluieren und einen funktionstüchtigen Solarrouter daraus zu fertigen. Die gesetzten Milestones im Projekt Alpenrouter wurden in der 2. Projektphase nicht erreicht und eine Auszahlung der verbleibenden Fördersumme wird nicht angestrebt.

Die Entwicklung wird voraussichtlich ca. Mitte des Jahres in Eigenleistung mit evaluierter G45 basierter Hardware fortgesetzt und soll bei positiven Ergebnissen bis zum Winter zu einem einsatzfähigen Prototyp 2 führen. Ergebnisse werden weiterhin im Arbeits-Wiki <http://alpenrouter.xaok.org> dokumentiert.

4. Zusammenfassung

Ziel des Projektes Alpenrouter war der Bau eines tcp/ip Routers mit Wlan Schnittstellen der im Alpen Gelände unter mitteleuropäischen Klimabedingungen über 95% Verfügbarkeit über das Jahr hinweg sicherstellt.

Dazu wurden verschiedene Möglichkeiten evaluiert, angefangen von klassischen Mikrocontrollern mit Wlan Schnittstellen bis hin zu modernen System-on-Chip Boards mit Linux Betriebssystem. Weiters wurden moderne Akkumulortechniken hingehend auf die Aufgabenstellung evaluiert und Konzepte für eine optimierte Laderegelung erstellt. Als größter Verbraucher im Gesamtsystem wurde auch mit verschiedenen Wlan Schnittstellen experimentiert und versucht deren Verbrauch durch Techniken wie undervolting oder auslöten einzelner Bauteile zu senken. Problematisch sind auch noch die Wlan Treiber der neusten Wlan Chipgenerationen unter Linux, da Funktionen wie Power Save und Sleep Modus meist nur unzureichend implementiert sind. Die Ergebnisse der Messreihen und Kommentare sind im Arbeits-Wiki ersichtlich.

Die seit Anfang 2011 erhältlichen Atmel G45 basierten Boards und die kontinuierliche Verbesserung der Wlan Treiber lassen hoffen das noch im Jahr 2011 ein weiterer Prototyp mit einem Durchschnittsverbrauch von unter 1 Watt umgesetzt werden kann.