Wiki-Benutzerhandbuch

Dieses Dokument wurde erzeugt mit BlueSpice

Seiten ohne Freigabemechanismus

Mitmachen im Wiki
Erste Schritte im Wiki
Regeln im Umgang miteinander
Datenschutz ist wichtig
Tipps für einen guten Artikel
Die Hilfe im Überblick
Navigation im Wiki
Visueller Editor und Quellcode
Responsive Design
Seiten erstellen und bearbeiten
Seitenlayout
Texte formatieren
Links einfügen
Bilder und Dateien einfügen
Kategorien zuordnen
Unterseiten im Wiki
Vorlagen nutzen

Inhaltsverzeichnis

1 Mitmachen im Wiki 4
1.1 Erste Schritte im Wiki 9
1.2 Regeln im Umgang miteinander 14
1.3 Datenschutz ist wichtig 19
1.4 Tipps für einen guten Artikel 24
2 Die Hilfe im Überblick 29
2.1 Navigation im Wiki 34
2.2 Visueller Editor und Quellcode 39
2.3 Responsive Design 44
3 Seiten erstellen und bearbeiten 49
3.1 Seitenlayout 54
3.2 Texte formatieren 59
3.3 Links einfügen 64
3.4 Bilder und Dateien einfügen 69
3.5 Kategorien zuordnen 74
3.6 Unterseiten im Wiki 79
3.7 Vorlagen nutzen 84

1 Mitmachen im Wiki

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 5
2 Förderung durch ARDC 5
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 5
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 6
4.1 Zeitmultiplex 7
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 7
4.3 Codemultiplex (CDMA) 7
4.4 Steuerung durch die Basisstation 8

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

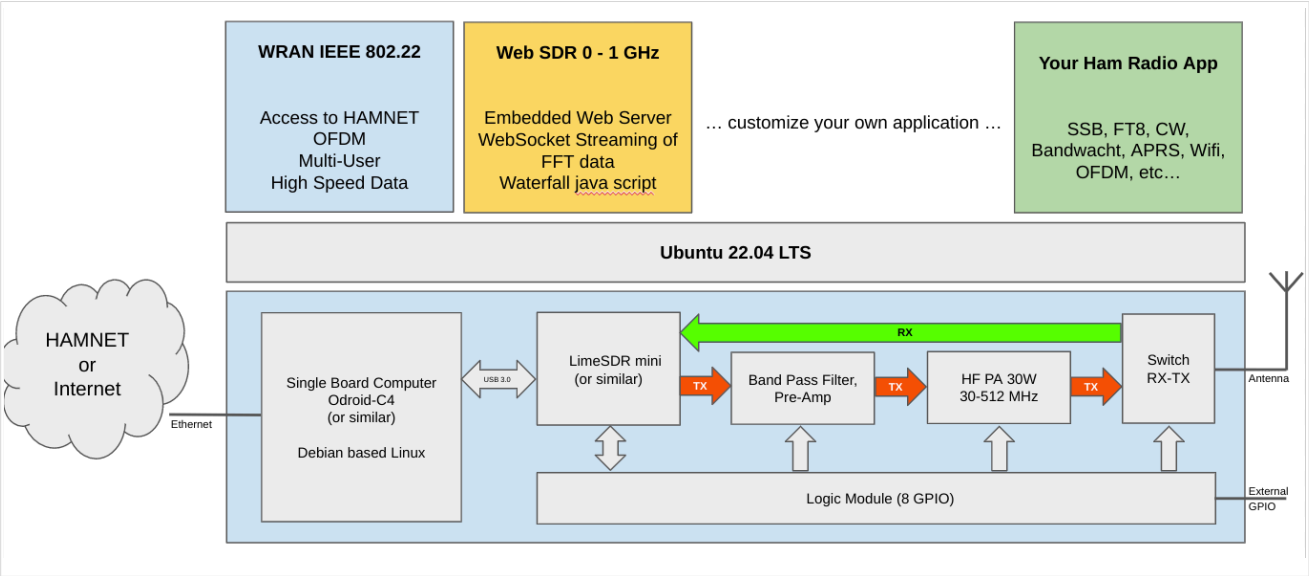
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

1.1 Erste Schritte im Wiki

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 10
2 Förderung durch ARDC 10
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 10
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 11
4.1 Zeitmultiplex 12
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 12
4.3 Codemultiplex (CDMA) 12
4.4 Steuerung durch die Basisstation 13

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

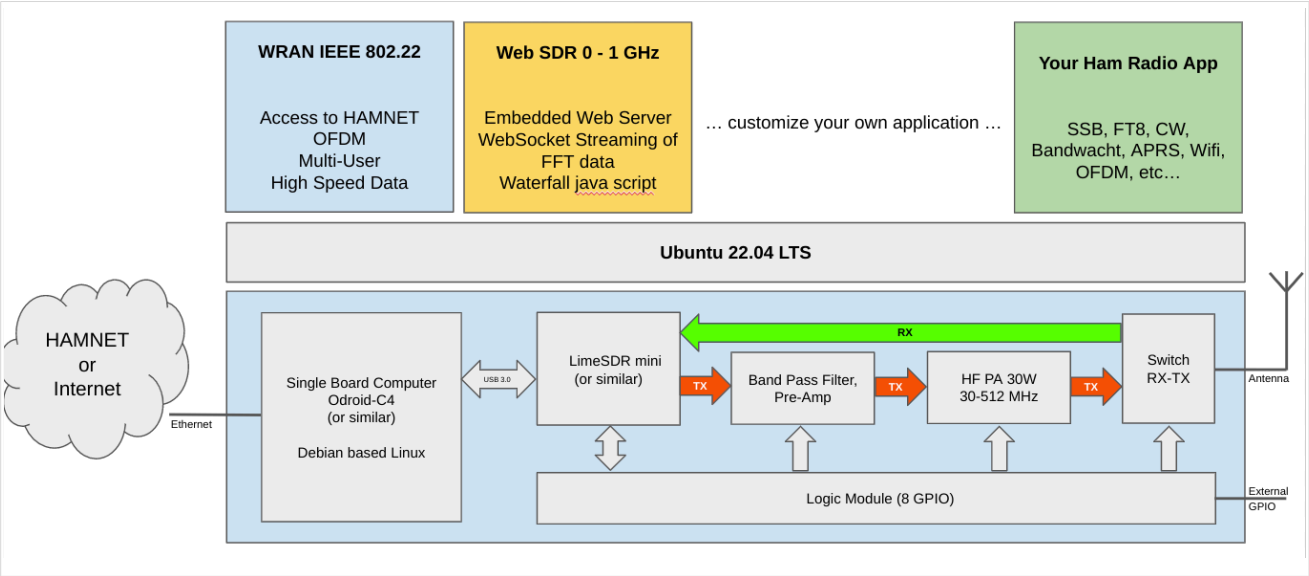
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

1.2 Regeln im Umgang miteinander

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 15
2 Förderung durch ARDC 15
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 15
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 16
4.1 Zeitmultiplex 17
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 17
4.3 Codemultiplex (CDMA) 17
4.4 Steuerung durch die Basisstation 18

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

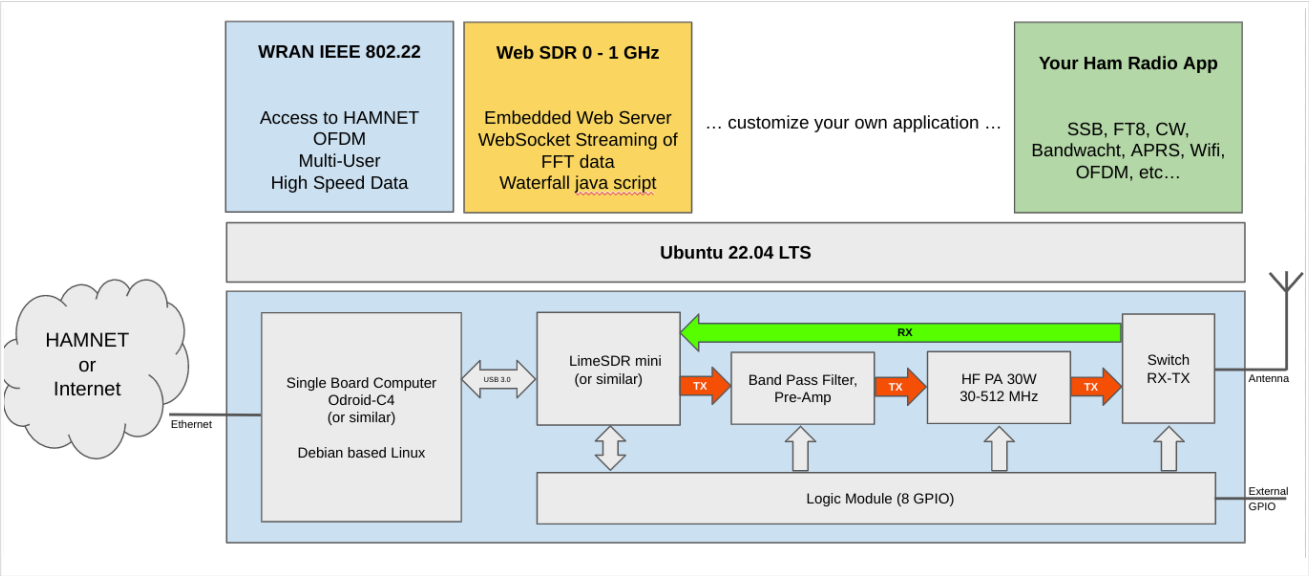
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

1.3 Datenschutz ist wichtig

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 20
2 Förderung durch ARDC 20
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 20
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 21
4.1 Zeitmultiplex 22
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 22
4.3 Codemultiplex (CDMA) 22
4.4 Steuerung durch die Basisstation 23

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

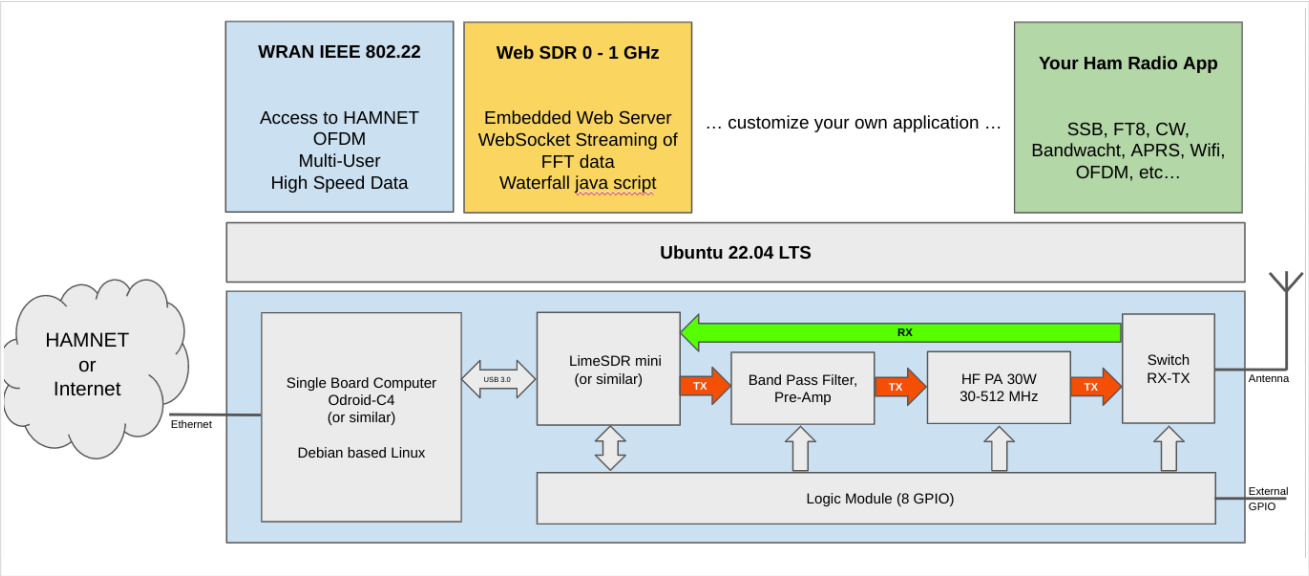
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

1.4 Tipps für einen guten Artikel

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 25
2 Förderung durch ARDC 25
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 25
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 26
4.1 Zeitmultiplex 27
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 27
4.3 Codemultiplex (CDMA) 27
4.4 Steuerung durch die Basisstation 28

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

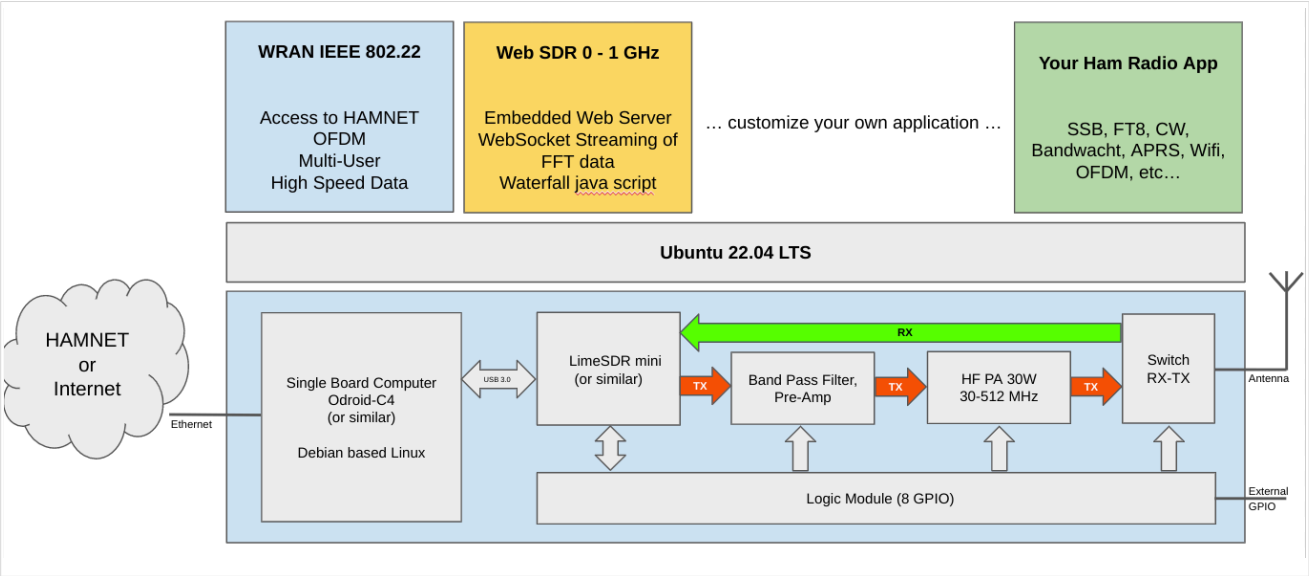
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

2 Die Hilfe im Überblick

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 30
2 Förderung durch ARDC 30
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 30
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 31
4.1 Zeitmultiplex 32
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 32
4.3 Codemultiplex (CDMA) 32
4.4 Steuerung durch die Basisstation 33

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

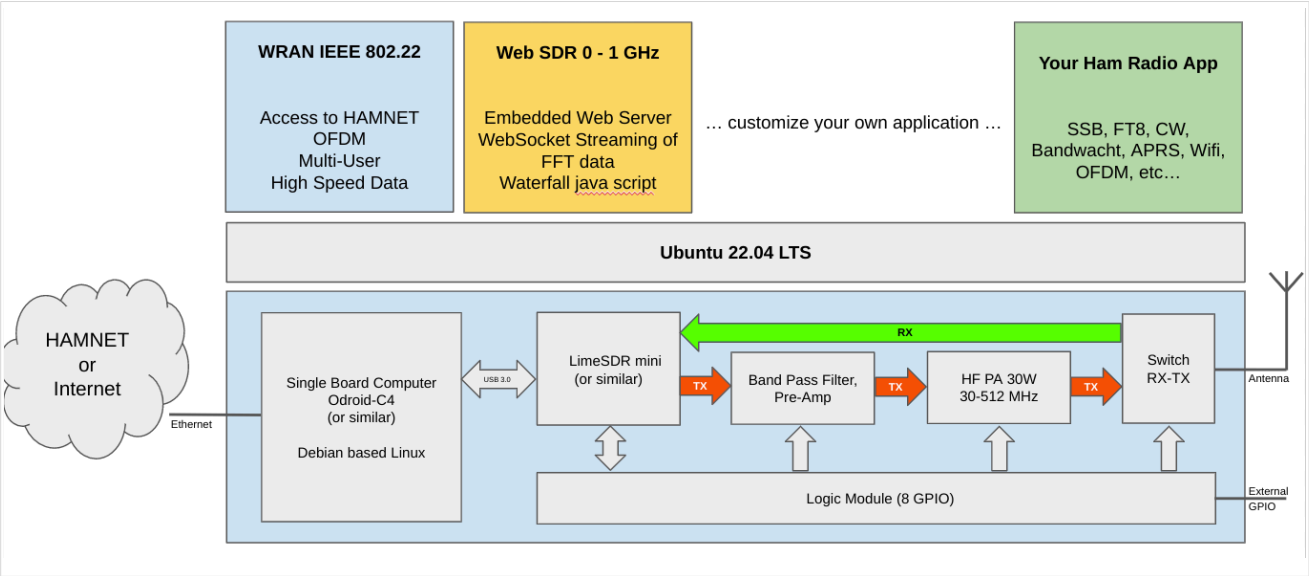
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

2.1 Navigation im Wiki

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 35
2 Förderung durch ARDC 35
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 35
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 36
4.1 Zeitmultiplex 37
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 37
4.3 Codemultiplex (CDMA) 37
4.4 Steuerung durch die Basisstation 38

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

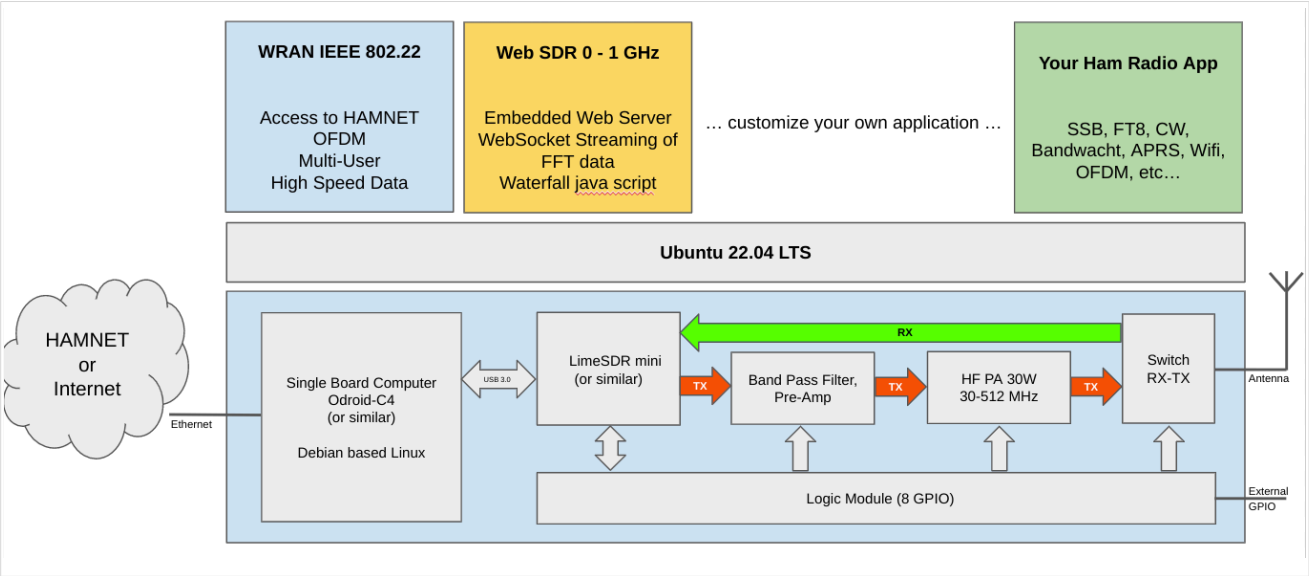
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

2.2 Visueller Editor und Quellcode

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 40
2 Förderung durch ARDC 40
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 40
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 41
4.1 Zeitmultiplex 42
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 42
4.3 Codemultiplex (CDMA) 42
4.4 Steuerung durch die Basisstation 43

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

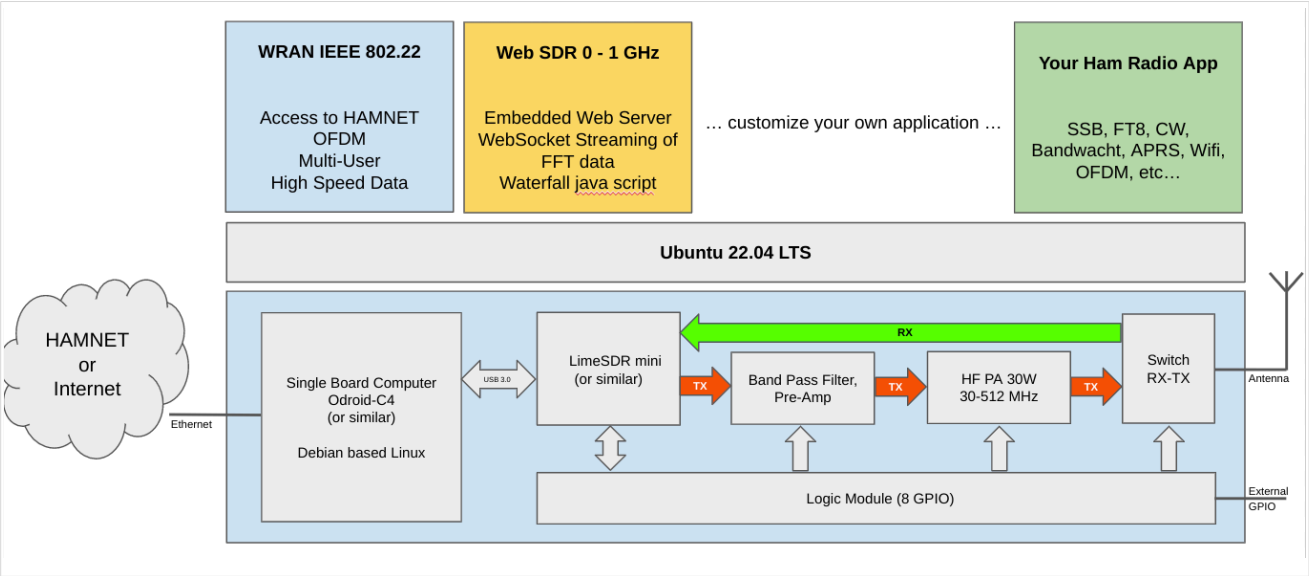
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

2.3 Responsive Design

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 45
2 Förderung durch ARDC 45
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 45
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 46
4.1 Zeitmultiplex 47
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 47
4.3 Codemultiplex (CDMA) 47
4.4 Steuerung durch die Basisstation 48

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

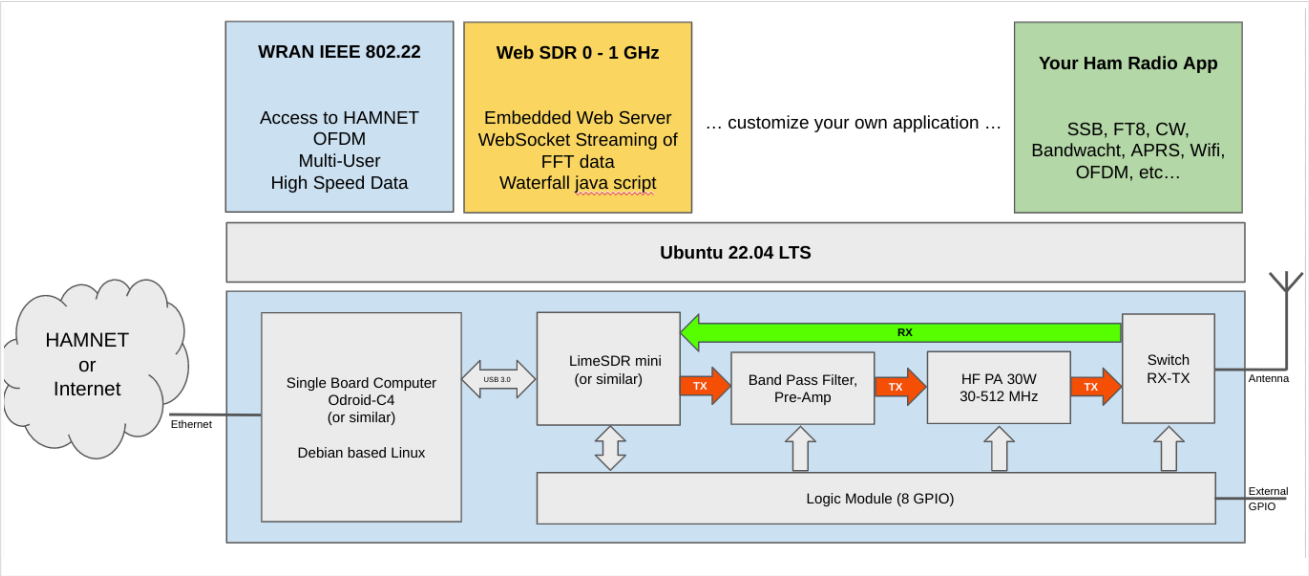
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

3 Seiten erstellen und bearbeiten

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 50
2 Förderung durch ARDC 50
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 50
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 51
4.1 Zeitmultiplex 52
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 52
4.3 Codemultiplex (CDMA) 52
4.4 Steuerung durch die Basisstation 53

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

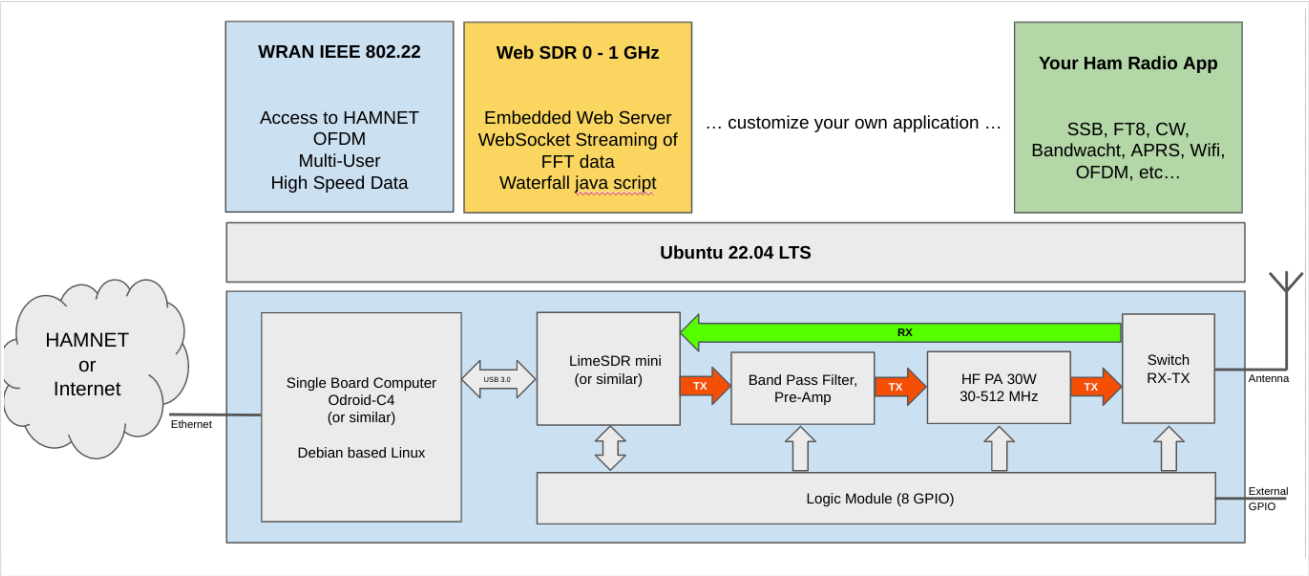
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

3.1 Seitenlayout

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 55
2 Förderung durch ARDC 55
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 55
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 56
4.1 Zeitmultiplex 57
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 57
4.3 Codemultiplex (CDMA) 57
4.4 Steuerung durch die Basisstation 58

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

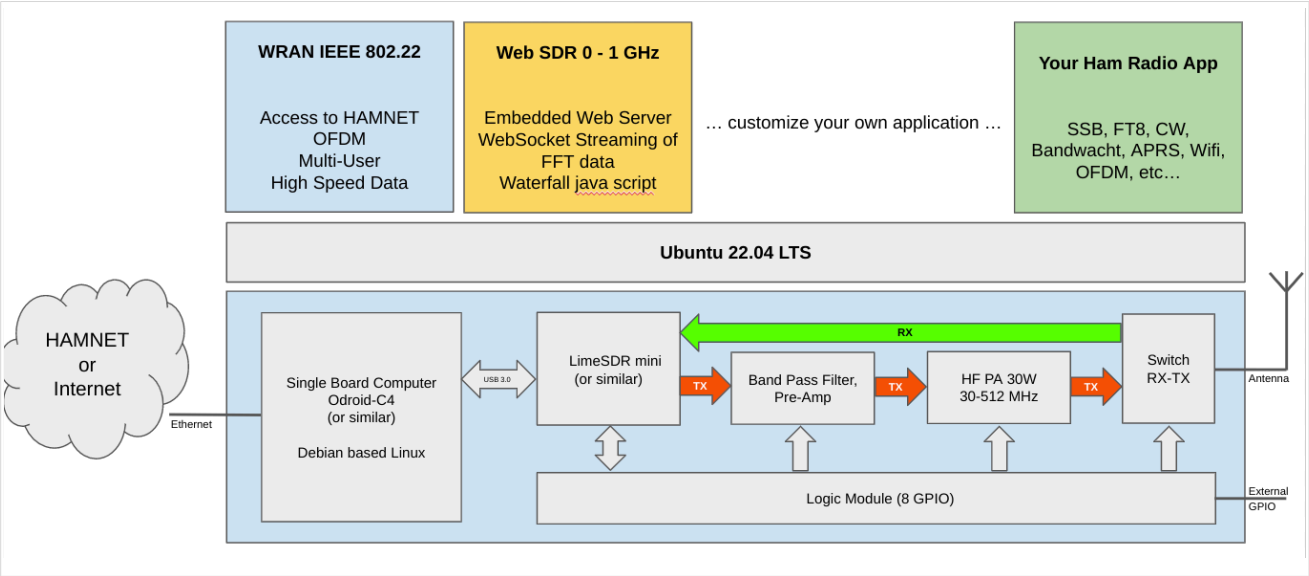
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

3.2 Texte formatieren

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 60
2 Förderung durch ARDC 60
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 60
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 61
4.1 Zeitmultiplex 62
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 62
4.3 Codemultiplex (CDMA) 62
4.4 Steuerung durch die Basisstation 63

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

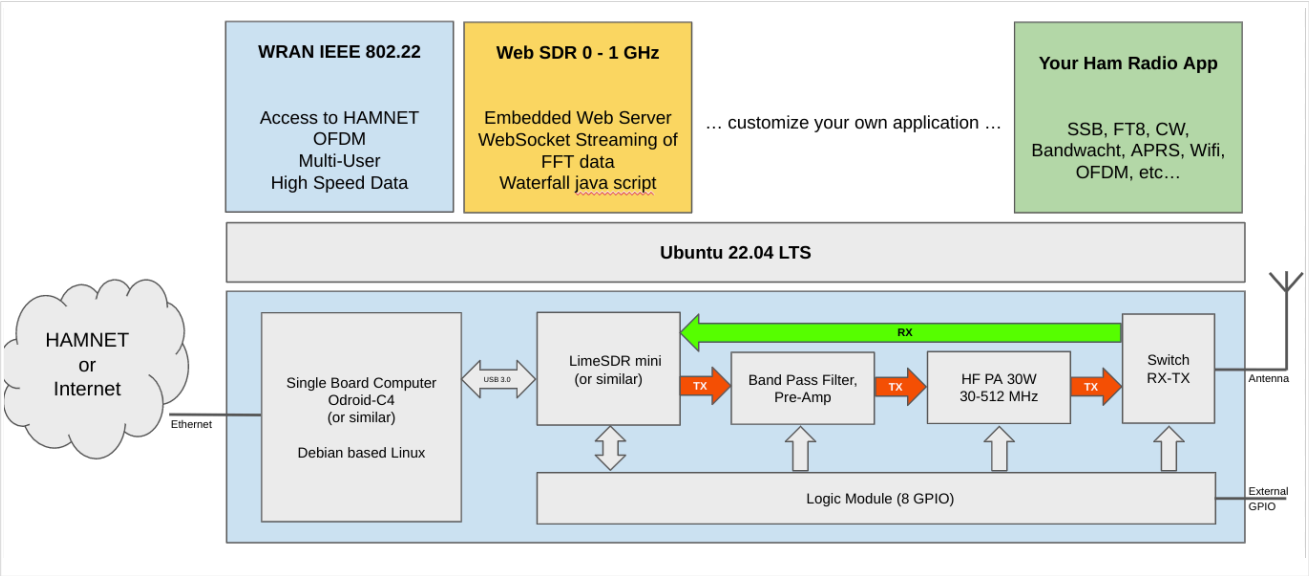
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

3.3 Links einfügen

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 65
2 Förderung durch ARDC 65
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 65
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 66
4.1 Zeitmultiplex 67
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 67
4.3 Codemultiplex (CDMA) 67
4.4 Steuerung durch die Basisstation 68

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

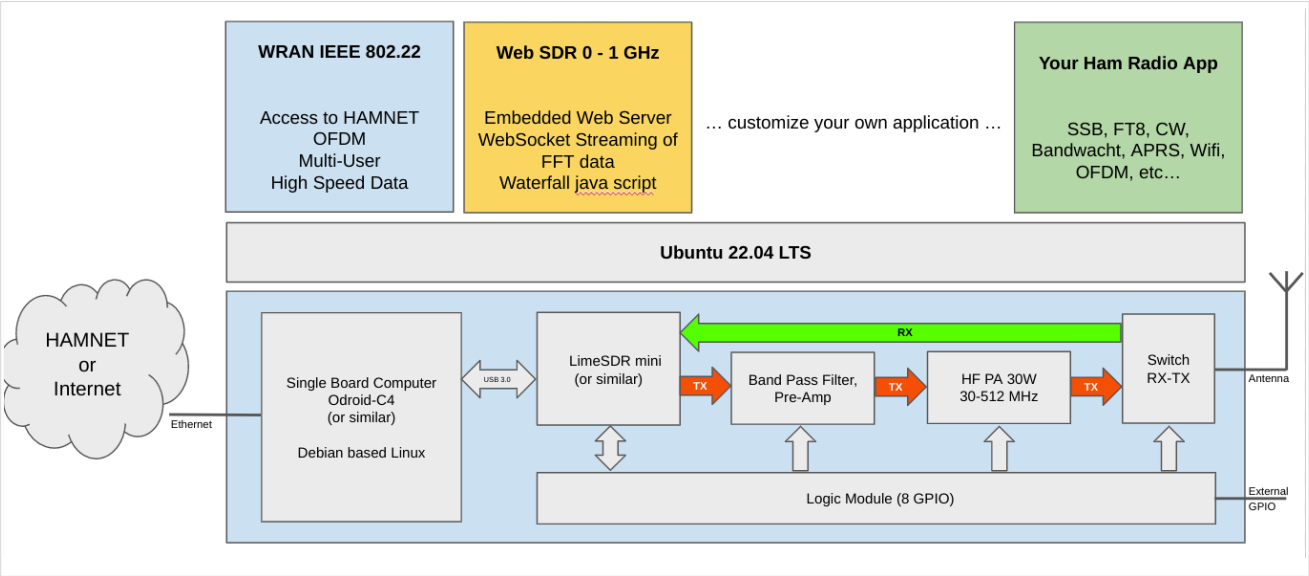
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

3.4 Bilder und Dateien einfügen

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 70
2 Förderung durch ARDC 70
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 70
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 71
4.1 Zeitmultiplex 72
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 72
4.3 Codemultiplex (CDMA) 72
4.4 Steuerung durch die Basisstation 73

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

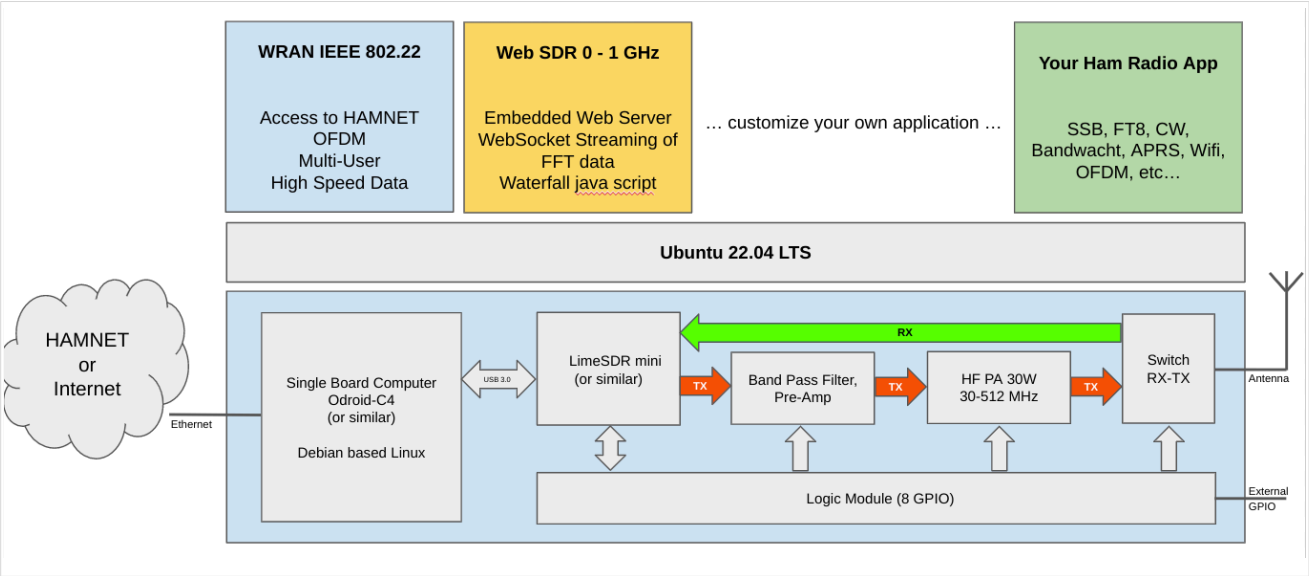
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

3.5 Kategorien zuordnen

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 75
2 Förderung durch ARDC 75
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 75
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 76
4.1 Zeitmultiplex 77
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 77
4.3 Codemultiplex (CDMA) 77
4.4 Steuerung durch die Basisstation 78

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

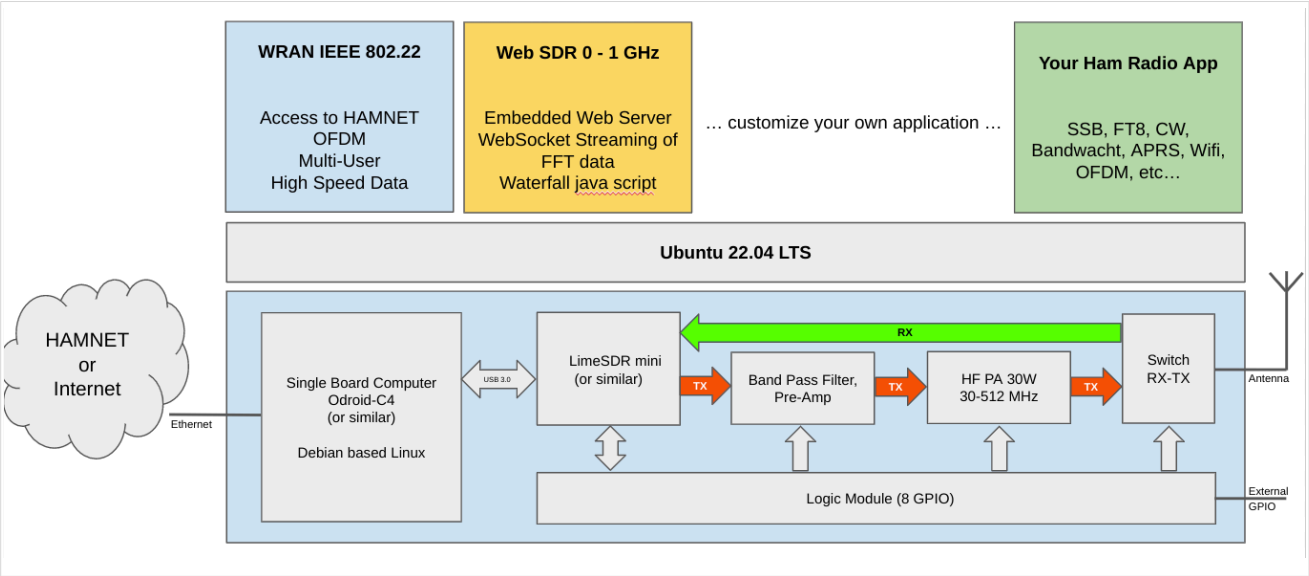
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

3.6 Unterseiten im Wiki

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 80
2 Förderung durch ARDC 80
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 80
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 81
4.1 Zeitmultiplex 82
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 82
4.3 Codemultiplex (CDMA) 82
4.4 Steuerung durch die Basisstation 83

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

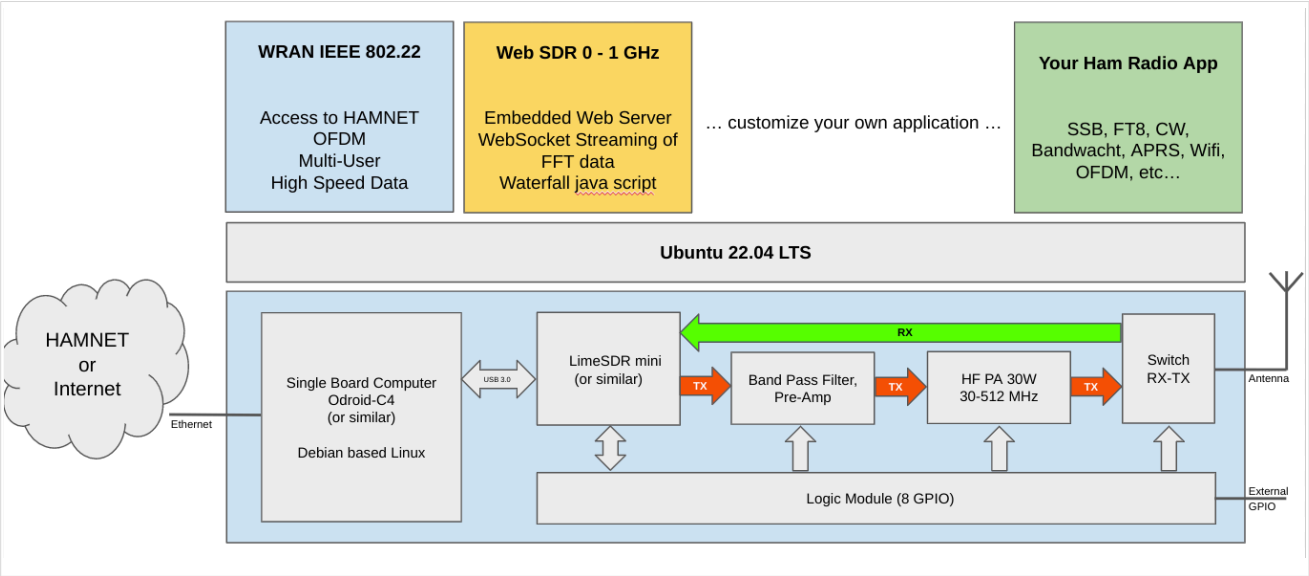
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).

3.7 Vorlagen nutzen

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick 85
2 Förderung durch ARDC 85
3 OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV 85
4 IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren 86
4.1 Zeitmultiplex 87
4.2 Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM) 87
4.3 Codemultiplex (CDMA) 87
4.4 Steuerung durch die Basisstation 88

Überblick

Das Projekt wurde von Michael, OE1MCU ins Leben gerufen, um den Zugang zum HAMNET einer großen Gruppe von Funkamateuren zu ermöglichen, auch wenn keine Sichtverbindung zum nächsten HAMNET Knoten besteht. Dazu soll vom ÖVSV ein neues Übertragungsverfahren und die nötige Hardware und Software entwickelt werden - ein sogenanntes “Super Wifi”, bei dem ein Accesspoint einen Bereich von 20-30km abdecken kann. Das zugehörige Übertragungsverfahren folgt einem WLAN ähnlichen Standard - IEEE 802.22 und ist für Wireless Regional Area Networks (WRAN) definiert worden. Als Modulationsverfahren wird, so wie im Mobilfunk, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet.

Das Projektteam ist seit Beginn der Initiative in 2020 mittlerweile auf 5 OMs, die aktiv am Projekt mitarbeiten, gewachsen und hat im April 2022 eine Förderung von 62.775,- Euro von der in den USA ansässigen Amateur Radio Digital Communications (ARDC) erhalten.

Das Budget wird nun zur Entwicklung der Hardware und Software eingesetzt, die in Form eines Transceiver Kits realisiert wird und RPX-100 heißt. Es besteht aus einem Software Defined Radio Modul - dem LimeSDR, einem Class A HF Verstärker, Software steuerbarer Filter und einem EMI Class B konformen Power Supply. Die Module des Kits werden in einem eigens von Rupert, OE9RWV gestalteten HF-Gehäuse zusammengefasst.

Förderung durch ARDC

Das WRAN Projekt des ÖVSV hat reges Interesse weltweit erweckt, und ist hier für die Community der Funkamateure beschrieben:

ARDC Förderung:

https://www.ampr.org/apply/grants/2022-grants/grant-wireless-regional-area-network-in-sub-ghz-bands-as-last-mile-for-hamnet/

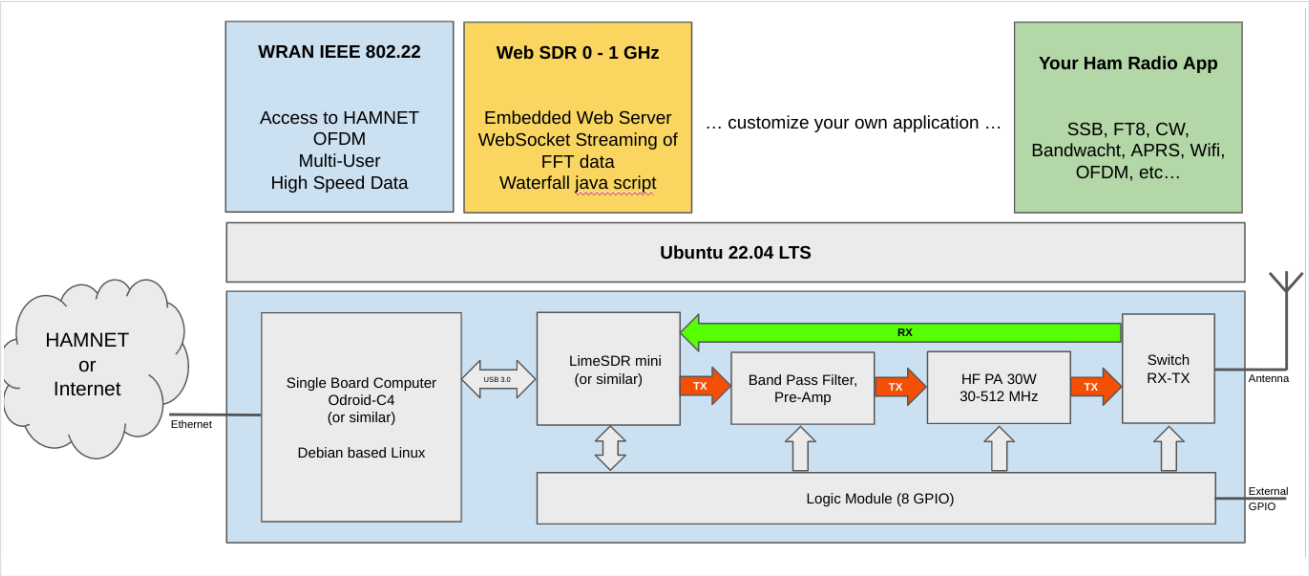
OpenSDR - Transceiver Kit - Made by ÖVSV

Das Projektteam hat sich am 6. August in den Räumen des Landesverbandes Tirol , in Innsbruck, getroffen, um die Weiterentwicklung des Prototypen zu planen. Hier haben die Erfahrungen von Manfred, OE7AAI und Rainer, OE9RIR mit dem Einsatz von Transceivern im remote Betrieb am

Berg sehr geholfen. Das Transceiver Kit RPX-100 wurde nun in Hardware Module strukturiert, die jedes für sich von Funkamateuren auch in eigenen Projekten eingesetzt werden können und höchsten Qualitätsansprüchen genügen sollen. Hier geht es um HF dichten Aufbau, und der Entwicklung eines Power Supply, dass EMI Class B Konform ist, und am Eingang mit 12V auskommt, da diese Spannung in jedem Shak oder auch an einer Relaisstation am Berg vorhanden ist.

Als Basis für das Linux-System kommt ein Odroid-C4 oder ein Raspberry PI zum Einsatz, bei dem am USB-Port ein LimeSDR Mini angeschlossen ist.

Als Betriebsystem kommt ein Debian oder Ubuntu Linux zum Einsatz, auf dem der Projektcode installiert werden kann. Der Projektcode besteht im Backend aus einem C++-Code auf Basis von liquid-dsp und auf einem Frontend auf Angular-Basis.



IEEE 802.22 - Ein neues Übertragungsverfahren

Mit 802.22 "Wireless Regional Area Network" (WRAN) hat die IEEE vor gut zehn Jahren einen Standard für IP-basierte Funk-Zugangsnetze vorgelegt. Dieser ist für regionale (typisch bis 30 km), breitbandige (einige bis zig Megabit pro Sekunde) Zugänge innerhalb lokal ungenutzter Fernseh-Rundfunk-Kanäle, dem sogenannten "TV White Space" bzw. der "Digitalen Dividende", zwischen ca. 50 und 800 MHz mit 6-8 MHz Bandbreite gedacht. Eine oder mehrere Basisstationen (BS) können dabei im selben Frequenzbereich arbeiten. Sie steuern die Übertragung der Endgeräte (Customer Premises Equipment, CPE), koordinieren sich untereinander, und lassen wo nötig auch noch Zeit und Spektrum für andere Funkdienste frei. Letztere Funktion wird im Standard mit "Cognitive Radio" bezeichnet und wird in einem zukünftigen QSP-Artikel erläutert.

Für das WRAN-Projekt des ÖVSV haben wir eine amateurfunktaugliche Variante von 802.22 abgeleitet, die aktuell für das 50 MHz-/6 m-Band und eine Bandbreite von nur 2 MHz entwickelt wird. Für den Testbetrieb wurde uns erst eine Sondergenehmigung erteilt und der Frequenzbereich inzwischen fest zugeordnet. Die grundsätzliche Struktur der Aussendungen, Signalisierung usw. wollen wir übernehmen -- und daher werfen wir jetzt einen Blick darauf. Die Form des fest getakteten "Frames" (Rahmen) ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeit dar, die y-Achse die Frequenz (Unterkanäle).

Zeitmultiplex

Bei WRAN arbeiten alle Stationen einer Zelle im selben Frequenzbereich. Als erstes strukturierendes Prinzip kommt Zeitmultiplex zum Einsatz. Die Basisstation übernimmt die Steuerung, wie die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche aufgeteilt wird: Alle 10 Millisekunden beginnt ein neuer Frame, in welchem zuerst die BS sendet (Übertragung zu den CPEs). Danach senden die angesprochenen CPEs gleichzeitig (!) retour -- dieses Verfahren erklären wir im nächsten Abschnitt. Am Ende des Frames ist Zeit für die gegenseitige Erkennung von benachbarten Zellen zwecks Koexistenz, das Aussenden der Stationskennung (Hardware-Adresse) sowie weitere Zeitpuffer vorgesehen.

Aus dem Aufbau des Frames ergibt sich auch eine Anforderung an die Funk-Hardware: Die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsbetrieb muss in einem Zeitfenster von rund 200 Mikrosekunden erfolgen. Die umgekehrte Richtung ist wegen Zeitpuffern weniger kritisch.

Orthogonaler Frequenzmultiplex (OFDM)

WRAN nutzt den gesamten verfügbaren Frequenzbereich gleichzeitig, indem dieser in Unterträger (Subcarriers) aufgeteilt wird, welche zu Unterkanälen (Subchannels) zusammengefasst sind. Benachbarte Unterträger haben immer denselben Frequenzabstand, proportional zum Kehrwert der angestrebten Symbolrate. Durch diese Konstruktion sind sie orthogonal und beeinflussen einander bei der Demodulation nicht gegenseitig.

Die Unterträger sind ihrerseits moduliert, und zwar angepasst an den aktuellen Signal-Rausch-Abstand: Ist dieser niedrig ("schlechter Empfang") bzw. werden wichtige Teile des Frames wie Präambeln ausgesendet, wird mit BPSK eine sehr robuste Modulation gewählt. Ist das SNR höher, kann bis zu 64-stufige Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) oder noch effizientere Trellis-Codierung verwendet werden. Die Symbolrate der Modulation ergibt sich aus dem Abstand der Unterträger, siehe oben.

Zur Messung des SNR und zur Synchronisierung der Stationen werden regelmäßig Pilot-Unterträger über das ganze genutzte Band hinweg ausgesendet. Damit können die Aussendungen feingranular an die frequenzspezifischen Ausbreitungsbedingungen angepasst werden (Equalization). Daneben müssen die einzelnen OFDM-Slots (Unterkanal-Symbolzeit-Flächen) robust gegen Mehrwegeausbreitung gemacht werden, z.B. mittels zyklischer Präfixe, und weitere Fehlerkorrektur sowie wiederholte Aussendung bei Übertragungsfehlern (ARQ) vorgesehen werden.

Für den ersten Abschnitt des Frames (downstream) sendet die BS über alle Unterkanäle zu den CPEs sequenziell, um in möglichst kurzer Zeit die Information an die CPEs zu übertragen. Im zweiten Abschnitt (upstream) senden die CPEs gleichzeitig, teilen sich aber die verfügbaren Unterkanäle überlappungsfrei auf, damit die Laufzeit im Rückkanal niedrig gehalten wird und die erlaubte Sendeenergie möglichst konzentriert eingesetzt werden kann. So wird die verfügbare Zeit-Spektrum-Fläche effizient ausgenutzt.

Codemultiplex (CDMA)

Noch eine dritte Modulationsart wird bei WRAN verwendet: Im Bereich der obersten Subchannels im zweiten Frame-Abschnitt ist Spektrumszeit reserviert, damit CPEs Signalisierungsinformation wie Bandbreitenanforderungen an die BS schicken können, Abstandsmessungen zur Anpassung

von Timing und Sendeleistung (Ranging) durchgeführt sowie etwaige andere Spektrumsnutzung im Raum um ein CPE gemeldet werden können. Durch den verwendeten Codemultiplex können hier mehrere CPEs gleichzeitig und im selben Frequenzbereich senden. Das CPE moduliert seine Aussendungen dafür mit einer zufällig aus einer vorgegebenen Menge ausgewählten "Chip"-Folge, die untereinander wiederum orthogonal sind.

An der Basisstation sind die Chip-Folgen bekannt. Damit können aus dem empfangenen Gesamtsignal die einzelnen Anfragen mit hoher Wahrscheinlichkeit getrennt demoduliert und dann bearbeitet werden.

Steuerung durch die Basisstation

Das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen Teile wird durch die Basisstation koordiniert. Die Präambel am Framebeginn dient der Synchronisierung und Kanalschätzung. Frame-Steuerdaten (FCH) kodifizieren die Länge der folgenden "Maps" (Zuordnungen) von Funkressourcen. Diese Maps geben vor, welche Abschnitte der BS-Aussendung downstream an welche CPEs gehen sollen (DS-MAP), welche Abschnitte später im Frame upstream von welchem CPE genutzt werden dürfen (US-MAP), sowie die Modulations- und Leistungsparameter dazu (DCD und UCD).