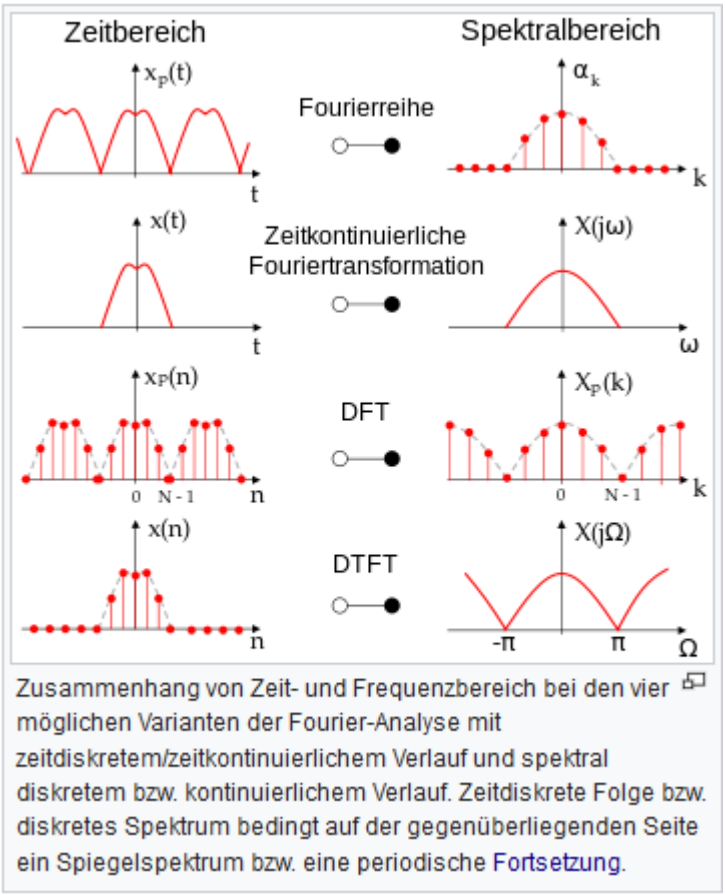
MSP
Signal Processing mit pfft~

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com
If it feels good, it must be in time!!

Signalverarbeitung mit pfft~

Arbeiten im Frequenzbereich

Die meiste digitale Signalverarbeitung von Audio erfolgt im Zeitbereich.



Zusammenhang von Zeit- und Frequenzbereich bei den vier möglichen Varianten der Fourier-Analyse mit zeitdiskretem/zeitkontinuierlichem Verlauf und spektral diskretem bzw. kontinuierlichem Verlauf. Zeitdiskrete Folge bzw. diskretes Spektrum bedingt auf der gegenüberliegenden Seite ein Spiegelspektrum bzw. eine periodische Fortsetzung.

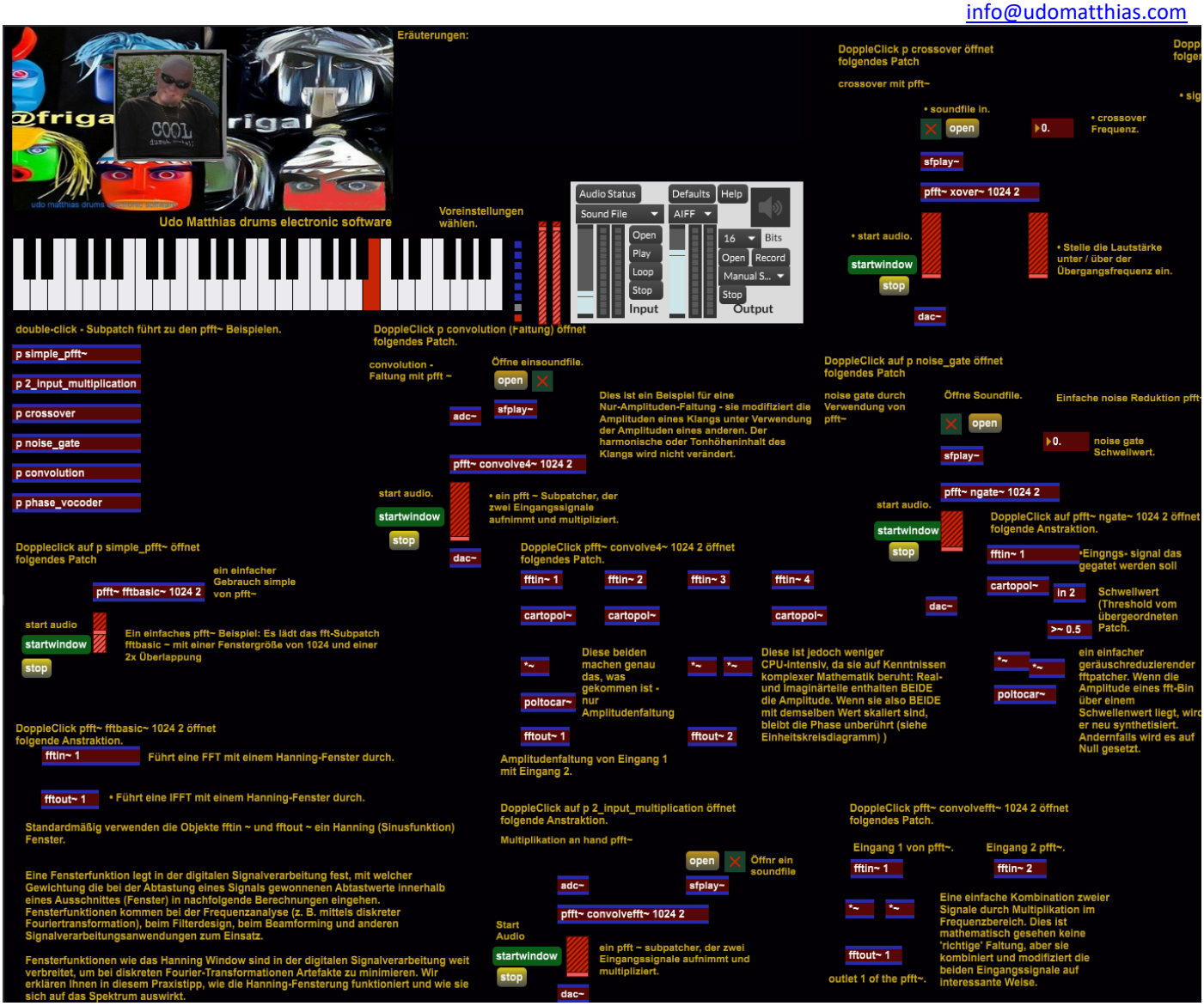
Und was wenn masn sich die Zeit als Kugel vorstellt. ➔ Es gibt immer wieder etwas neues zu entdecken – there are no limits!!

Wie die anderen MSP-Unterlagen zeigten, bestehen viele der häufigsten Prozesse zum Bearbeiten von Audio aus unterschiedlichen Samples (oder Gruppen von Samples) in Amplitude (Ringmodulation, Wellenformung, Verzerrung) oder Zeit (Filter und Verzögerungen).

➔**Mit der Fast Fourier Transform (FFT) können wir Audiodaten aus dem Zeitbereich in den Frequenzbereich übersetzen,** wo wir das Spektrum eines Klangs (die Komponentenfrequenzen einer Audioscheibe) direkt bearbeiten können.

Wie wir schon gesehen haben, können wir mit den MSP-Objekten fft~ und ifft~ Signale in den Frequenzbereich und aus diesem heraus transformieren. **Das fft~ -Objekt nimmt eine Gruppe von Abtastwerten (üblicherweise als Frame (Window)➔NWT bezeichnet) und wandelt sie in Paare von reellen und imaginären Zahlen um, die Informationen über die Amplitude und Phase von so vielen Frequenzen enthalten, wie Abtastwerte im Rahmen vorhanden sind.** Diese werden üblicherweise als Bins oder Frequenzbins bezeichnet. (Wir werden später sehen, dass die reellen und imaginären Zahlen selbst nicht die Amplitude und Phase sind, sondern

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com



dass die Amplitude und
Phase daraus abgeleitet werden können.) Das ifft~ -Objekt
führt die inverse Operation aus, nimmt
Rahmen von Frequenzbereichsabtastwerten auf und konvertiert
die kehren in ein Zeitbereich-Audiosignal zurück, das wir anhören oder weiterverarbeiten können. **Die Anzahl der Abtastwerte im Rahmen wird als FFT-Größe (oder manchmal als FFT-Punktgröße) bezeichnet**. Es muss eine Potenz von 2 sein, z. B. 512, 1024 oder 2048 (um einige häufig verwendete Werte anzugeben). ➔log. Liegt ja im RAM!!

Wir haben auch gesehen, dass die Objekte fft~ und ifft~ an aufeinanderfolgenden Frames von Samples arbeiten, ohne dass es zu Überlappungen oder Überblendungen zwischen ihnen kommt.
➔ **Für die praktische Verwendung dieser Objekte müssen wir normalerweise ein solches Überlappungs- und Überblendungssystem um sie herum erstellen, wie schon gezeigt. Es gibt mehrere Gründe, ein solches System erstellen zu müssen.** Bei der FFT-Analyse gibt es immer einen **Kompromiss zwischen Frequenzauflösung und Zeitauflösung.** Wenn unsere FFT-Größe beispielsweise 2048 Abtastwerte lang ist, erhalten wir mit der FFT-Analyse 2048 Frequenzbereiche mit gleichem Abstand von 0 Hz. bis zur

MSP
Signal Processing mit pfft~

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com

Abtastfrequenz (nur 1024 dieser Bins sind von Nutzen; siehe früher für Details). Das genaue Timing von Ereignissen, die innerhalb dieser 2048 Samples auftreten, geht jedoch bei der Analyse verloren, da alle zeitlichen Änderungen in einem einzigen FFT-Rahmen zusammengefasst werden. **Wenn wir die Spektraldaten nach der FFT-Analyse und vor der IFFT-Resynthese ändern, können wir außerdem nicht mehr garantieren, dass das von der IFFT ausgegebene Zeitbereichssignal in aufeinanderfolgenden Frames übereinstimmt.** Wenn die Vektoren der Ausgabezeitdomäne nicht zusammenpassen, **erhalten wir Klicks in unserem Ausgangssignal.** Mithilfe einer Fensterfunktion können wir diese Artefakte kompensieren, indem aufeinanderfolgende Frames bei Überlappung ineinander übergehen. **Dies kompensiert zwar nicht den Verlust der Zeitauflösung, aber die Überlappung von Analysedaten hilft dabei, die Klicks und Knackgeräusche zu beseitigen,** die an den Rändern eines IFFT-Frames nach der Resynthese auftreten.

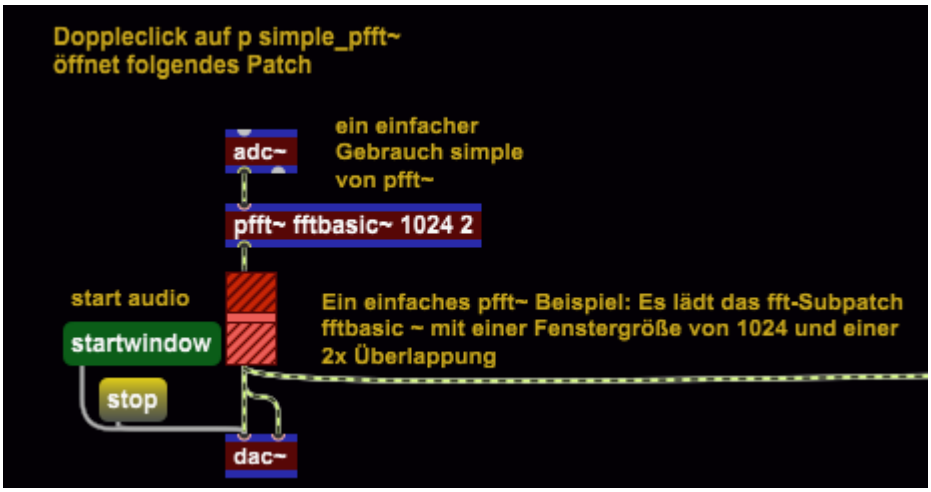
Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com
If it feels good, it must be in time!!

Dieser Ansatz kann jedoch häufig eine Herausforderung für die Programmierung darstellen, und es besteht auch die Schwierigkeit, den Patch für mehrere Kombinationen von FFT-Größe und Überlappung zu verallgemeinern. Da die Argumente für fft~ / ifft~ für die FFT-Frame-Größe und -Überlappung nicht geändert werden können, müssen mehrere von Hand optimierte Versionen jedes Subpatch für verschiedene Situationen erstellt werden. **Zum Beispiel würde ein perkussiver Klang eine Analyse mit mindestens vier Überlappungen erfordern, während ein einigermaßen statischer, harmonisch reicher Klang eine sehr große FFT-Größe erfordern würde.**

Eine Einführung in das pfft~ Objekt

Das pfft~ -Objekt behebt viele der Mängel der grundlegenden fft~ - und ifft~ -Objekte und ermöglicht es uns, spezielle „spektrale Unterpatches" zu erstellen und zu laden, **die Frequenzdomänensignaldaten unabhängig von Fensterung, Überlappung und FFT-Größe bearbeiten. Ein einzelner Sub-Patch kann daher für mehrere Anwendungen geeignet sein.** Darüber hinaus verwaltet das pfft~ -Objekt die Überlappung von FFT-Frames, übernimmt die Fensterfunktionen für uns und eliminiert die redundanten gespiegelten Daten im Spektrum. Dies macht es bequemer und effizienter als die herkömmlichen fft~ und ifft~ -Objekte.

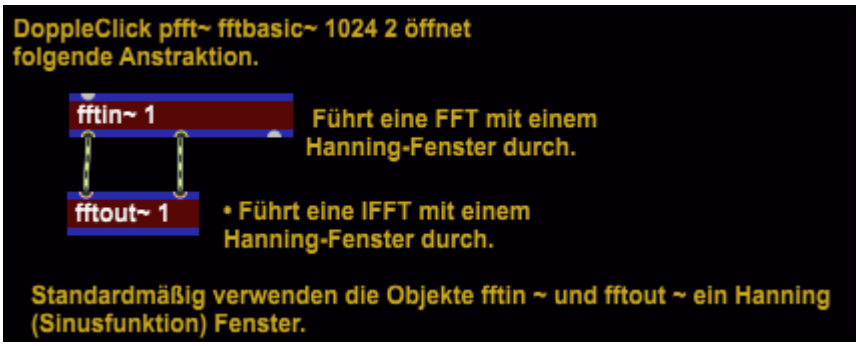
Das pfft~ -Objekt verwendet als Argument den Namen eines speziell entworfenen Unterfelds, das die fftin~ und fftout~ -Objekte enthält (auf die weiter unten eingegangen wird), eine Zahl für die **FFT-Größe in Stichproben und eine Zahl für den Überlappungsfaktor (diese müssen) beide sind ganze Zahlen, die eine Potenz von 2) sind:**



Eine einfache Verwendung von pfft~.

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com
If it feels good, it must be in time!!

Das oben genannte pfft~ subpatch fftbasic~ könnte ungefähr so aussehen:



Das oben gezeigte fftbasic~ -Unterfeld nimmt eine Signaleingabe entgegen, **führt eine FFT für dieses Signal mit einem Hanning-Fenster** durch (siehe unten) und führt eine IFFT für das FFT-Signal durch, ebenfalls mit einem Hanning-Fenster. Das pfft~ -Objekt kommuniziert mit seinem Unter-Patch über spezielle Objekte für Ein- und Ausgänge. Das fftin~ -Objekt empfängt ein Zeitdomänensignal von seinem übergeordneten Patch und transformiert es über eine FFT in den Frequenzbereich. Dieses Zeitbereichssignal wurde bereits vom pfft~
-Objekt in eine Folge von Frames umgewandelt,
die sich zeitlich überlappen, und das Signal, das fftin~
in das spektrale Subpatch ausgibt, repräsentiert das
Spektrum jedes dieser eingehenden Frames.

Technisches Detail: Standardmäßig entspricht die Signalvektorgröße innerhalb des spektralen Teilfelds der Hälfte der FFT-Größe, die als Argument für pfft~ angegeben wurde.

➔**Hier ist der Grund dafür:** Aus Effizienzgründen führen fftin~ und fftout~ eine sogenannte echte FFT durch, die schneller ist als die herkömmliche komplexe FFT, die von fft~ und ifft~ verwendet wird. Dies ist möglich, weil die von uns transformierten Zeitbereichssignale keinen Imaginärteil haben (oder zumindest einen Imaginärteil haben, der gleich Null ist). **Eine Real-FFT ist ein cleverer mathematischer Trick, der die Nur-Echtzeit-Zeitbereichseingabe in die FFT als Real- und Imaginärteil einer komplexen FFT neu anordnet, die halb so groß ist wie unsere Real-FFT.** Das Ergebnis dieser FFT wird dann in ein komplexes Spektrum umgeordnet, das die Hälfte (von 0 Hz bis zur Hälfte der Abtastrate) unseres ursprünglichen Nur-Real-Signals darstellt. **Die kleinere FFT-Größe bedeutet, dass sie für den Prozessor unseres Computers effizienter ist.** Da eine komplexe FFT ein gespiegeltes Spektrum erzeugt, von dem nur die Hälfte für uns wirklich nützlich ist, enthält die reale FFT alle Daten, die wir zum Definieren und anschließenden Bearbeiten der Signale benötigen Spektrum. (Trotzdem können wir, wenn wir möchten, ein optionales Argument für das pfft~ -Objekt setzen, um es anzuweisen, eine komplexe FFT durchzuführen, die zu einem vollständigen Spektrum von 0 Hz bis zur Abtastrate führt. In diesem Fall die Signalvektorgröße des Spektrals Das Subpatch entspricht der FFT-Größe. Dies ist nicht nur wegen der größeren FFT rechenintensiver, sondern auch, weil das spektrale Subpatch die doppelte Anzahl von

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com

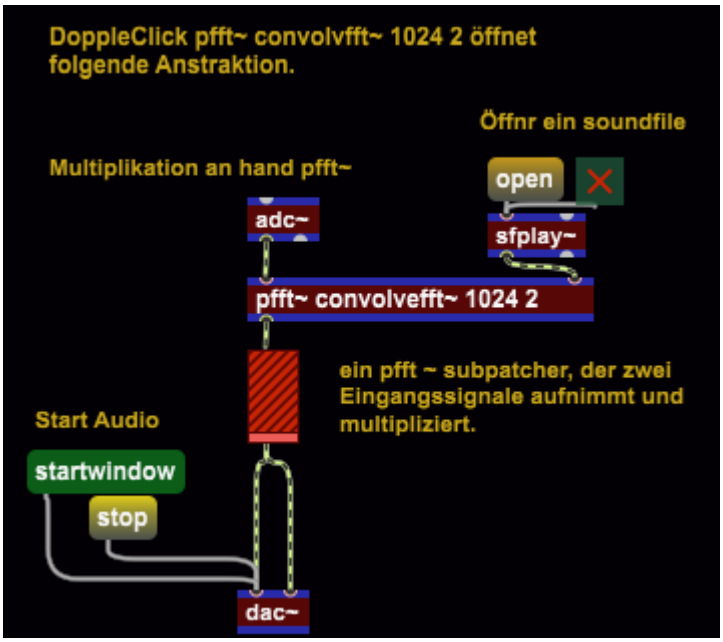
If it feels good, it must be in time!!

Abtastwerten für dieselbe Datenmenge verarbeiten muss.)
Das Objekt fftout~ macht das Gegenteil, akzeptiert Frequenzdomänensignale, wandelt sie wieder in ein Zeitdomänensignal um und leitet es über einen Ausgang an das übergeordnete Patch weiter. Beide Objekte verwenden ein nummeriertes Argument (um die Einlass- oder Auslassnummer anzugeben) und ein Symbol, das die zu verwendende Fensterfunktion angibt. **Die verfügbaren Fensterfunktionen sind Hanning (die Standardeinstellung, wenn keine angegeben ist), Hamming, Blackman, Triangle und Square.** Darüber hinaus kann das Symbol der Name eines Pufferobjekts sein, das eine benutzerdefinierte Fensterfunktion enthält. Unterschiedliche Fensterfunktionen haben unterschiedliche Bandbreiten und Stoppbandtiefen für jeden Bin der FFT. **Eine gute Referenz zur FFT-Analyse hilft uns bei der Auswahl eines Fensters basierend auf dem Sound, den wir analysieren möchten, und dem, was wir damit machen möchten.**

➔**Hier zu empfehlen ist unbedingt das Computer Music Tutorial von Curtis Roads (Sounds gibt es online) oder das Handbuch für Wissenschaftler und Ingenieure zur digitalen Signalverarbeitung von Steven W. Smith.**

Im Allgemeinen funktioniert das Standard-Hanning-Fenster für musikalische Zwecke am besten, da es eine saubere Hüllkurve ohne Amplitudenmodulationsartefakte bei der Ausgabe bietet.

Es gibt auch ein praktisches nofft-Fensterargument für fftin~ und fftout~, mit dem die überlappenden Zeitbereichsrahmen zum und vom pfft~ direkt zum und vom Subpatch übergeben werden können, ohne eine Fensterfunktion anzuwenden oder eine Fourier-Transformation durchzuführen.



➔In diesem Fall (da die Signalvektorgröße des spektralen Teilfelds die Hälfte der FFT-Größe beträgt) wird das Zeitbereichssignal zwischen den realen und imaginären Ausgängen der fftin~ und fftout~ -Objekte aufgeteilt, was bei ihrer Verwendung ziemlich unpraktisch sein kann

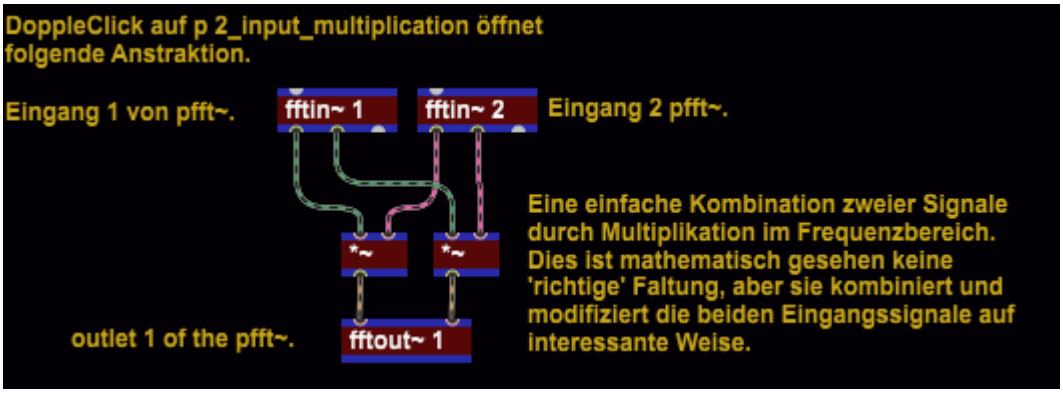
➔Überlappung von 4 oder mehr. Obwohl die Option nofft

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com

If it feels good, it must be in time!!

verwendet werden kann, um Steuersignaldaten vom übergeordneten Patch in das spektrale Subpatch zu senden, wird sie für die meisten praktischen Anwendungen von pfft~ nicht empfohlen.

Ein komplizierteres pfft~ subpatch könnte ungefähr so aussehen:



Eine einfache Art der spektralen Faltung

Dieses Subpatch nimmt zwei Signaleingänge (die als Einlässe im übergeordneten pfft~ -Objekt erscheinen würden), wandelt sie in den Frequenzbereich um, multipliziert die realen Signale miteinander und multipliziert die imaginären Signale miteinander und gibt das Ergebnis an einen fftout~ aus Objekt, das die Frequenzbereichsdaten in ein Zeitbereichssignal umwandelt. Die Multiplikation im Frequenzbereich wird als Faltung bezeichnet und ist das grundlegende **Signalverarbeitungsverfahren, das bei der Kreuzsynthese verwendet wird (Verwandeln eines Klangs in einen anderen).**

Das Ergebnis dieses Algorithmus ist, dass sich Frequenzen aus den beiden Analysen mit größeren Amplitudenwerten gegenseitig verstärken, während Frequenzen mit schwächeren Amplitudenwerten in einer Analyse den Wert der anderen verringern oder aufheben, egal ob stark oder schwach. **Der Frequenzinhalt, den die beiden eingehenden Signale gemeinsam nutzen, bleibt erhalten, während der Frequenzinhalt, der in einem Signal und nicht im anderen Signal vorhanden ist, gedämpft oder beseitigt wird.** Dieses Beispiel ist jedoch keine „echte" Faltung, da die Multiplikation komplexer Zahlen (siehe unten) nicht so einfach ist wie die in diesem Beispiel durchgeführte Multiplikation.

Faltungspatch

Wir werden später in diesem Tutorial einige Möglichkeiten kennenlernen, wie wir einen „richtigen" Faltungspatch erstellen können.

Wie wir wahrscheinlich bereits bemerkt haben, dass beim Verbinden von fftin~ und fftout~ sowie bei der Verarbeitung der dazwischen liegenden Spektren immer zwei Signale zu verbinden sind.
Dies liegt daran, dass der FFT-Algorithmus komplexe Zahlen erzeugt - Zahlen, die einen Real- und einen Imaginärteil enthalten. Der Realteil wird am äußersten linken Ausgang von fftin~ ausgesendet, und der Imaginärteil wird an seinem zweiten Auslass

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com

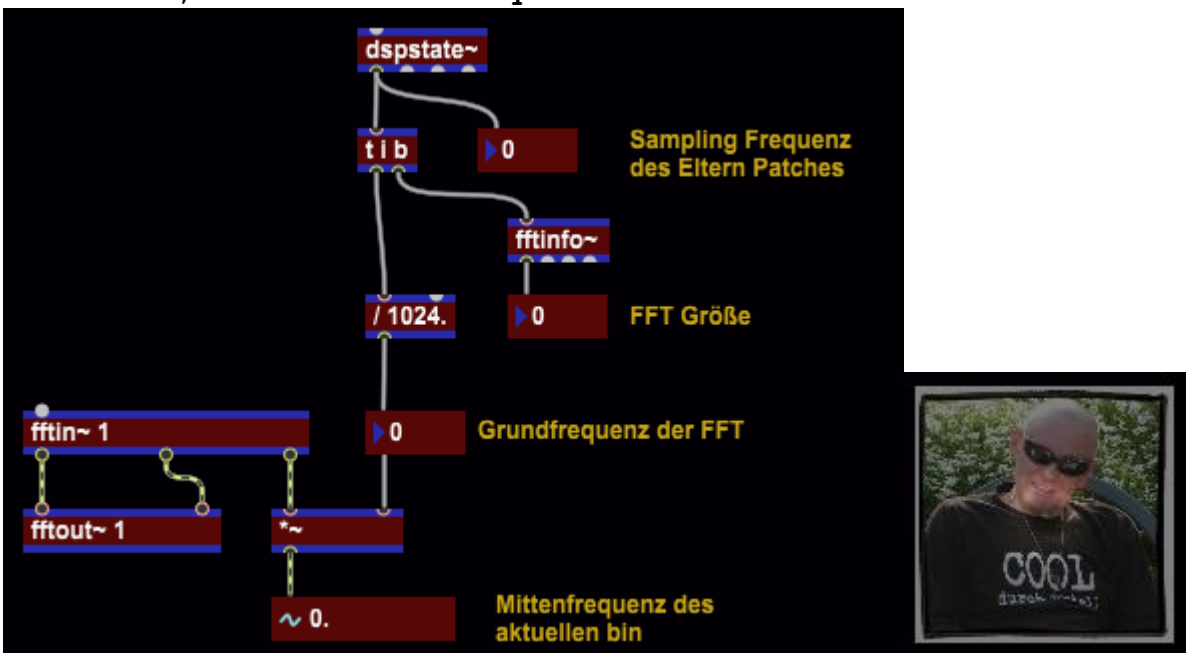
If it feels good, it must be in time!!

ausgesandt. Die zwei Einlässe von fftout~ entsprechen auch real bzw. imaginär. **Der einfachste Weg, komplexe Zahlen zu verstehen, besteht darin, sie als einen Punkt auf einer zweidimensionalen Ebene darzustellen, wobei der Realteil die X-Achse (horizontaler Abstand von Null) und der Imaginärteil die Y-Achse (vertikal) darstellt Abstand von Null).** Wir werden später in diesem Tutorial mehr darüber erfahren, was wir mit den Real- und Imaginärteilen der komplexen Zahlen tun können.

Das dritte Outlet

Das fftin~ -Objekt hat einen dritten Ausgang, der einen Strom von Abtastwerten ausgibt, die dem aktuellen Frequenzbereichsindex entsprechen, dessen Daten an die ersten beiden Ausgänge gesendet werden (dies ist analog zu dem dritten Ausgang der fft~ und ifft~ -Objekte, die wir noch diskutieren werden

➔ Für fftin~ gibt dieser Ausgang eine Zahl von 0 bis zur Hälfte der FFT-Größe minus 1 aus. Wir können diese Werte in Frequenzwerte (die die Mittenfrequenz jedes Bin darstellen) umwandeln, indem wir das Signal (das als Sync-Signal bezeichnet wird) multiplizieren mit der Grundfrequenz der FFT. Die Grundwelle der FFT ist die niedrigste Frequenz, die die FFT analysieren kann, und ist umgekehrt proportional zur Größe der FFT **(d.h. größere FFT-Größen ergeben niedrigere Grundfrequenzen)**. Die genaue Grundwelle der FFT kann erhalten werden, indem die FFT-Framegröße durch die Abtastfrequenz geteilt wird. Wenn das fftinfo~ -Objekt in einem pfft ~ -Unterfeld platziert wird, erhalten wir die FFT-Rahmengröße, die FFT-Halbbildgröße (d.h. die Anzahl der tatsächlich im pfft~ -Unterfeld verwendeten Bins) und die FFT-Sprunggröße die Anzahl von Überlappungssampeln zwischen den Fensterrahmen). Wir können dies in Verbindung mit dem Objekt dspstate~ oder dem Objekt adstatus mit dem Argument sr (Abtastrate/Samplefrequenz) **verwenden, um die Basisfrequenz der FFT zu erhalten:**



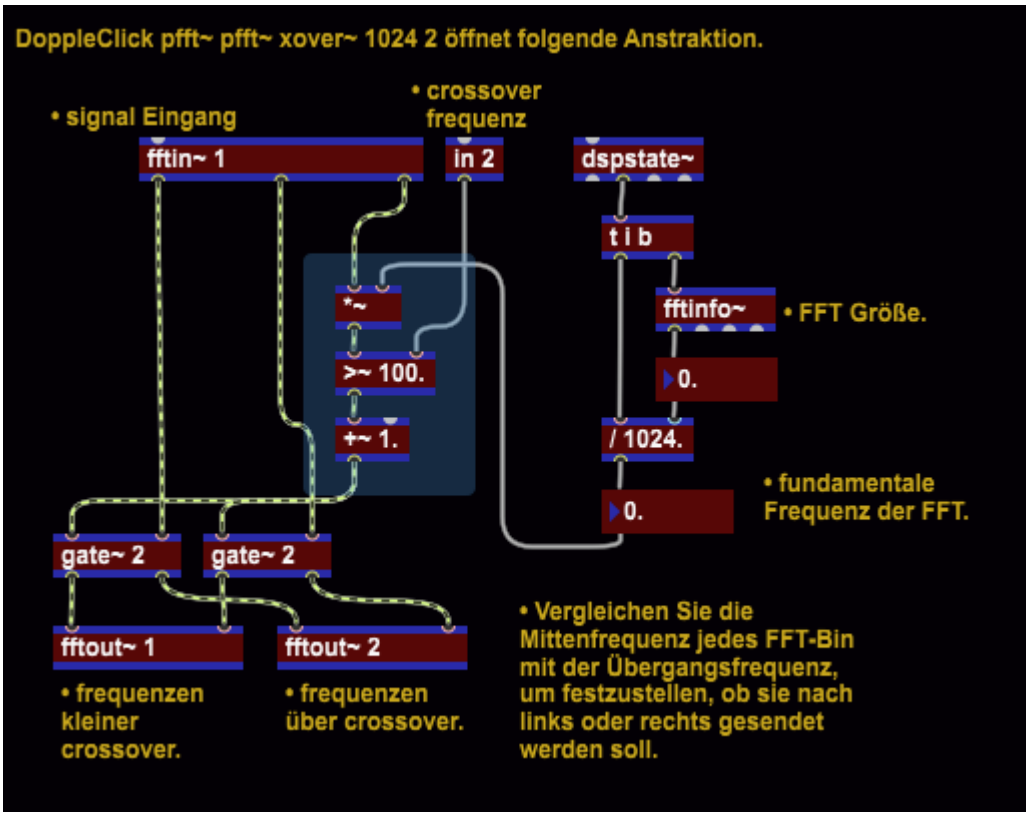
Ermitteln der Mittenfrequenz des aktuellen Analysefachs.

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com
If it feels good, it must be in time!!

Beachte: dass im obigen Beispiel das Objekt number~ hier nur zu Demonstrationszwecken verwendet wird. Wenn DSP eingeschaltet ist, scheint sich die im Feld für die Signalnummer angezeigte Nummer nicht zu ändern, **da im Feld für die Signalnummer standardmäßig das erste Sample im Signalvektor angezeigt wir**d, in diesem Fall immer 0. Um die Mittenfrequenzwerte anzuzeigen müssen wir das capture~ -Objekt verwenden oder dieses Signal in einem puffer~ aufzeichnen.

Sobald wir die Häufigkeit der Bins kennen, die aus fftin~ gestreamt werden, können wir Operationen an den FFT-Daten basierend auf der Häufigkeit ausführen.

Beispielsweise:



Eine einfache spektrale Frequenzweiche.

Das obige pfft~ -Unterfeld, xover~ genannt, nimmt ein Eingangssignal und sendet die Analysedaten basierend auf einer Übergangsfrequenz an eines von zwei fftout~ -Objekten. Die Übergangsfrequenz wird unter Verwendung des in-Objekts an das pfft~ -Unterfeld gesendet, welches die maximalen Nachrichten vom übergeordneten Patch über den rechten Einlass des pfft~ -Objekts weiterleitet.

Die Mittenfrequenz des zugehörigen bin wird bestimmt durch den Synchronisationsausgang in Verbindung mit fftinfo~ und dspstate~, - welche mit der Übergangsfrequenz verglichen wird.

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com

Das Ergebnis dieses Vergleichs dreht ein gate~, das Signal in eines der beiden fftout~ -Objekte sendet:
➔Der Teil des Spektrums, dessen Tonhöhe niedriger als die Übergangsfrequenz ist, wird aus dem linken Ausgang des pfft~ und dem Teil gesendet das ist höher als die Übergangsfrequenz wird rechts ausgesendet.
Nun erfahren wir wie dieser Subpatcher mit pfft~ in einem Patch verwendet werden kann.

Eine Möglichkeit, das xover~ -Unterfeld zu verwenden

Beachte: dass wir mithilfe der In- und Out-Objekte Ganzzahlen, Floats und jede andere Max-Nachricht an und von einem von pfft~ geladenen Subpatch senden/aussenden können. (Siehe MSP Polyphony 1.
Die Objekte poly~ und out~ funktionieren in einem pfft~ nicht.)

Arbeiten mit Amplitude und Phase

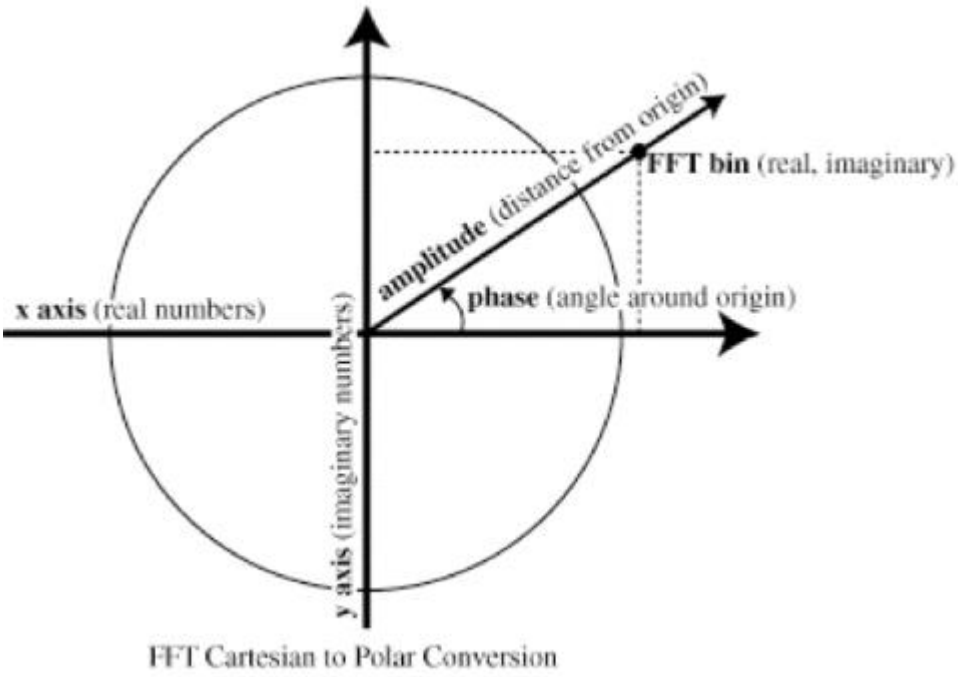
Wie wir bereits erfahren haben, geben die ersten beiden Ausgänge von fftin~ für jedes Sample der FFT-Analyse einen Strom von reellen und imaginären Zahlen für die Bin-Antwort aus (in ähnlicher Weise erwartet fftout~ diese Zahlen).

➔**Dies sind nicht die Amplitude und Phase jedes** Bin, sondern sollten stattdessen als Paare kartesischer Koordinaten betrachtet werden, wobei x der Realteil und y das Imaginäre ist und Punkte auf einer zweidimensionalen Ebene darstellt.

Die Amplitude und Phase jedes Frequenz-bins sind die Polarkoordinaten dieser Punkte, wobei der Abstand vom Ursprung die Binamplitude und der Winkel um den Ursprung die Binphase ist:

MSP
Signal Processing mit pfft~

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com
If it feels good, it must be in time!!

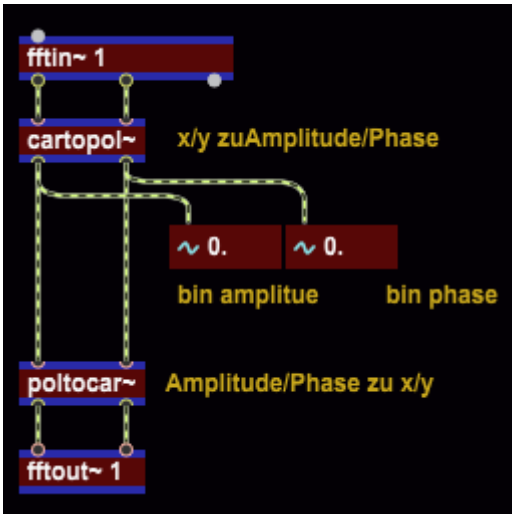


FFT Cartesian to Polar Conversion

Wie Wechselstromtechnik

Einheitskreisdiagramm (Radius =1, egal wir groß wir den Kreis zeichnen), dass die Beziehung von realen und imaginären FFT-Werten zu Amplitude und Phase zeigt.

➔Mit den Objekten cartopol~ und poltocar~ können wir problemlos zwischen realen/imaginären Paaren und Amplituden-/Phasenpaaren konvertieren:



Umwandlung von Kartesisch in Polar

Technisches Detail: Die Amplitudenwerte, die am linken Ausgang des Kartopol ausgegeben werden, hängen natürlich von der Amplitude des Signals ab, das wir an das pfft~ -Objekt senden. Der maximale Amplitudenwert für ein konstantes Signal von 1,0 ist jedoch gleich der Summe der Amplitudenwerte der verwendeten Fensterfunktion.

➔Für ein Hanning-Fenster entspricht dies der Hälfte der FFT-Größe, und für ein quadratisches Fenster entspricht dies der FFT-Größe.

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com
If it feels good, it must be in time!!

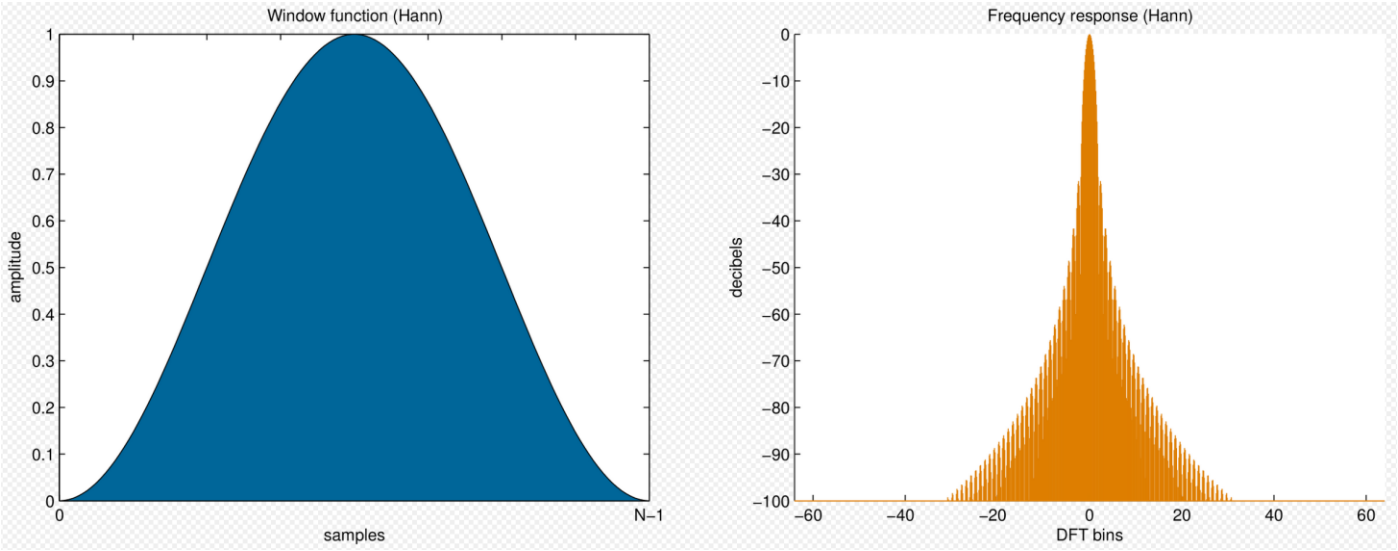
➔**Hanning Fenster s.Anhang**

Für eine Schwingung wie eine Sinuswelle mit einer maximalen Amplitude von 1,0 betragen die von der FFT erhaltenen Maximalwerte ein Viertel der Fenstergröße. FFT-Bins am extrem niedrigen und oberen Ende des Spektrums können **geringfügig kleinere Maximalwerte aufweisen, und ein Gleichstromversatz im Schall kann die maximalen Amplitudenwerte der FFT-Analyse geringfügig erhöhen.**

➔**Dennoch finden wir hier eine Liste von Multiplikatoren** für verschiedene Fensterformen, um den maximal möglichen Amplitudenwert einer Sinuswelle mit vollem Volumen zu ermitteln:

Hanning: FFTsize * 0,25
Hamming: FFTsize * 0,27174
Blackman: FFTsize * 0,21
Dreieck: FFTsize * 0,2495
Quadrat: FFTsize * 0.5

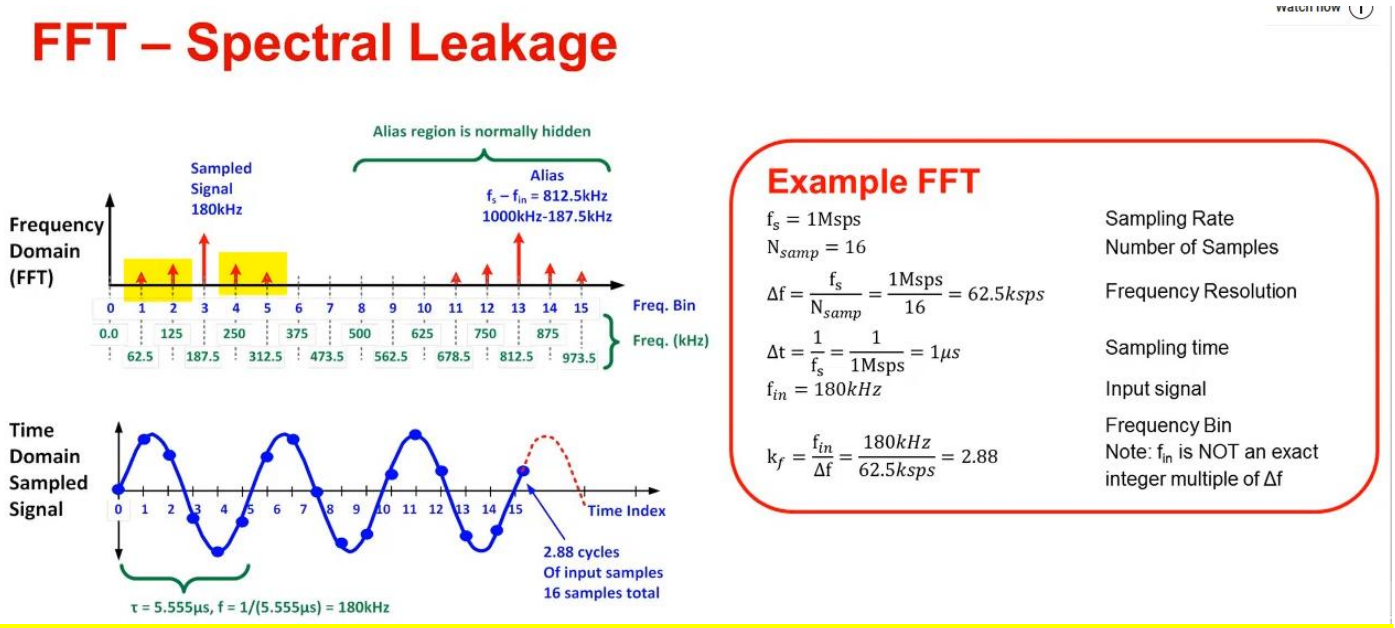
➔weiter s. hier:



Bsp: Hanning Fenster

Wenn wir beispielsweise eine 512-Punkt-FFT mit dem Standard-Haning-Fenster verwenden, hat eine Sinuswelle mit vollem Volumen bei der halben Nyquist-Frequenz im 128. Frequenzbereich einen Wert von 128 (512 * 0,25).

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com
If it feels good, it must be in time!!

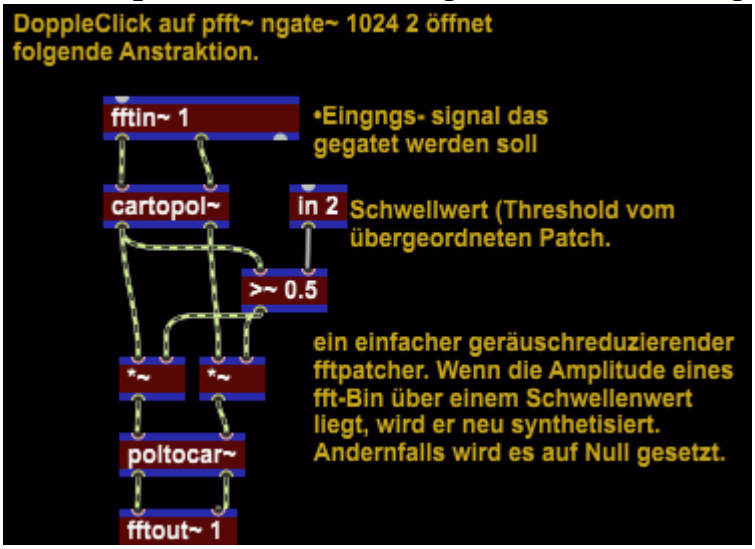


Das gleiche Szenario unter Verwendung eines Blackman-Fensters liefert einen Wert von 107,52 im 128. Frequenzbereich (512 * 0,21).

Obwohl dies die theoretischen Maximalwerte mit einer einzelnen Sinuswelle als Eingang sind, weisen reale Audiosignale im Allgemeinen erheblich niedrigere Werte auf, da die Energie in komplexen Wellenformen über viele Frequenzen verteilt ist.
Die vom rechten Auslass des kartopol~ ausgegebenen Phasenwerte liegen immer zwischen -π und π.

Mit diesen Informationen können wir Signalverarbeitungsroutinen basierend auf Amplituden-/Phasendaten erstellen.

➔Ein spektrales Rauschgatter würde ungefähr so aussehen:



Ein spektrales Rauschgatter

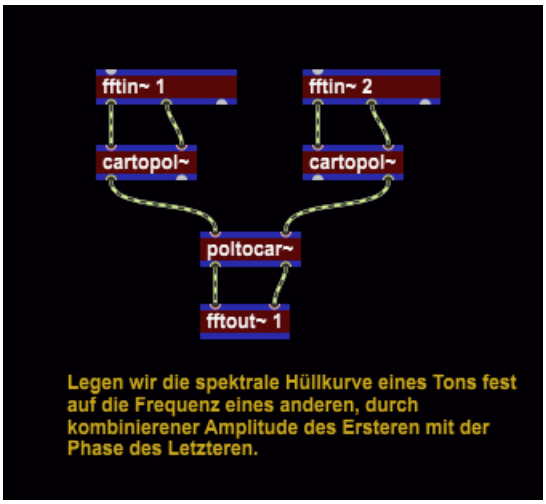
Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com

If it feels good, it must be in time!!

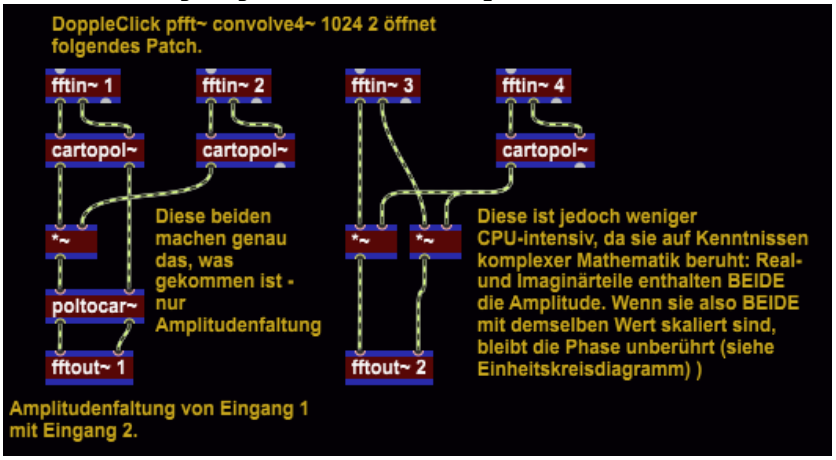
Durch Vergleichen des Amplitudenausgangs von cartopol~ mit dem Schwellensignal, das in den Einlass 2 des pfft~ gesendet wird, wird jeder Bin von den *~ Objekten (Multiplikation) entweder passiert oder auf Null gesetzt. **➔Auf diese Weise bleiben nur Frequenzbereiche in der Resynthese erhalten,** die eine bestimmte Amplitude überschreiten (Informationen zu Amplitudenwerten innerhalb eines spektralen Teilfelds finden wir im technischen Hinweis oben).

Faltung und Kreuzsythese

Faltungs- und Kreuzsyntheseeffekte verwenden üblicherweise Amplituden- und Phasendaten für ihre Verarbeitung. Einer der grundlegendsten Kreuzsyntheseeffekte, die wir erzielen könnten, **wäre die Verwendung des Amplitudenspektrums eines Klangs mit dem Phasenspektrum eines anderen Klangs.** Da sich das Phasenspektrum auf Informationen über den Frequenzgehalt des Klangs bezieht, kann diese Art **der Kreuzsynthese den harmonischen Inhalt eines Klangs liefern, der von der spektralen Hüllkurve eines anderen Klangs „gespielt" wird. Der Erfolg dieser Art von Effekt hängt natürlich stark von der Wahl der beiden verwendeten Sounds ab.**
Hier ist ein Beispiel eines spektralen Subpatches, das cartopol~ und poltocar~ **verwendet, um diese Art der Kreuzsynthese** durchzuführen:



Das folgende Subpatch-Beispiel zeigt zwei Möglichkeiten, die Amplitude eines Eingangs mit der Amplitude eines anderen zu falten:



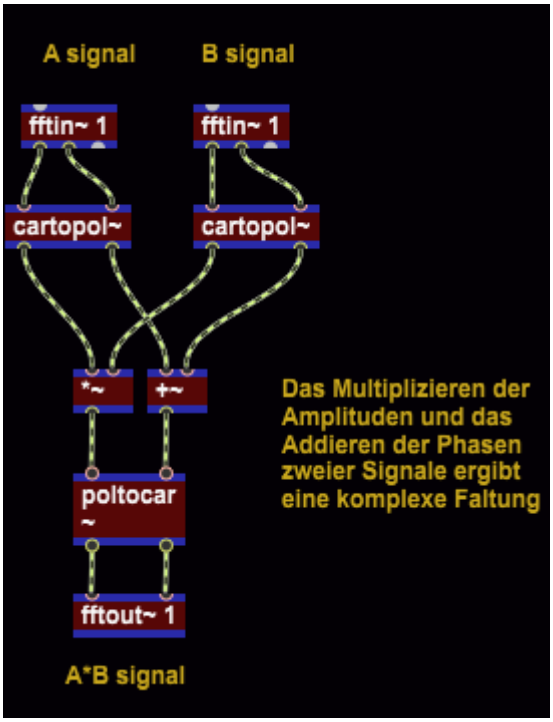
Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com
If it feels good, it must be in time!!

Nur-Amplituden-Faltung

Auf der linken Seite dieses Unterfelds können wir leicht erkennen, dass die Amplitudenwerte der **Eingangssignale miteinander multipliziert** werden. **Dies verstärkt Amplituden, die in beiden Klängen hervorstechen, während diejenigen, die es nicht sind, gedämpft werden.** Die Phasenantwort des ersten Signals wird durch die komplexe* reelle Multiplikation nicht beeinflusst. Die Phasenantwort des zweiten Signaleingangs wird ignoriert. Wir werden auch feststellen, dass die rechte Seite des Unterfelds mathematisch der linken entspricht, obwohl nur ein cartopol-Objekt verwendet wird.

Zu Beginn dieses Tutorials haben wir ein Beispiel für die Multiplikation zweier realer/imaginärer Signale gesehen, um eine Faltung durchzuführen.

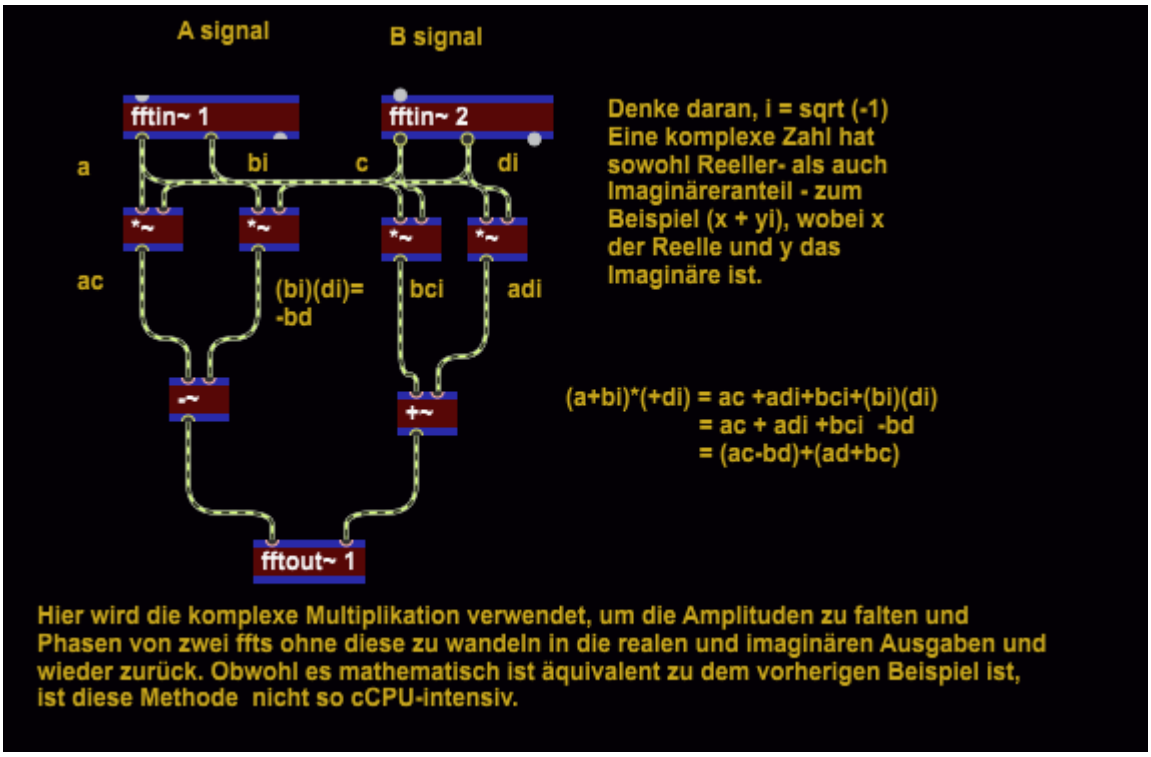
➔**Dieses Beispiel wurde zu Erklärungszwecken einfach gehalten, war dadurch aber tatsächlich falsch.** Wenn wir uns gefragt haben, was eine „korrekte" Multiplikation zweier komplexer Zahlen bedeuten würde, haben wir folgende Möglichkeiten:



Die richtige Methode für komplexe Faltungen

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com
If it feels good, it must be in time!!

Hier ist eine zweite und etwas klügere Herangehensweise an dasselbe zum erreichen des Zieles:



Eine korrekte und clevere Art, komplexe Faltungen durchzuführen Zeitdehnung

Unterpatcher (UP, Abstraktionen), die für die Verwendung mit pfft~ erstellt wurden, können den gesamten Bereich der MSP-Objekte verwenden, einschließlich Objekte, die auf Daten zugreifen, die in einem pufferobjekt~ gespeichert sind. (Obwohl sich einige Objekte, die für die Behebung von Zeitproblemen entwickelt wurden, möglicherweise nicht immer wie ursprünglich erwartet verhalten, wenn sie in einem pfft~ verwendet werden.)

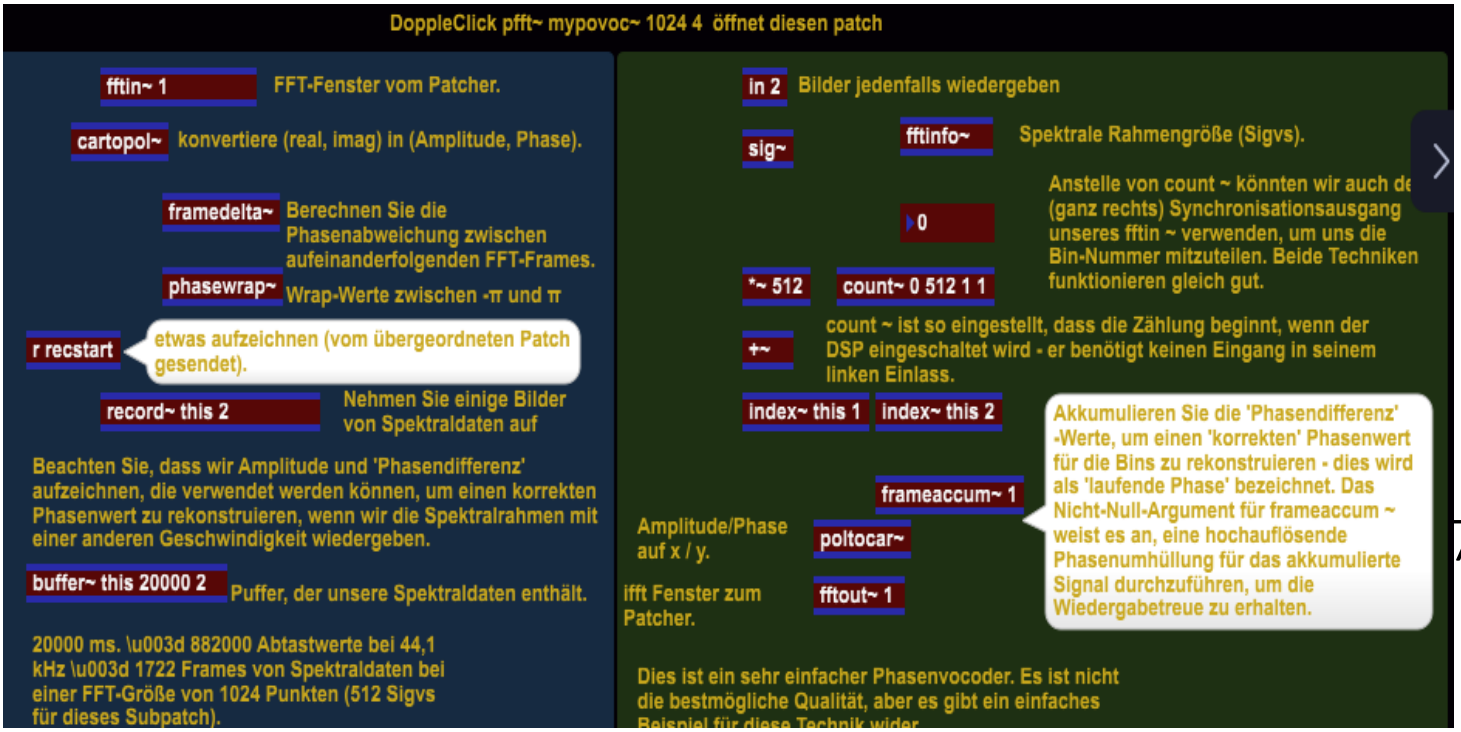
Eigene Notizen:

MSP
Signal Processing mit pfft~

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com

If it feels good, it must be in time!!

Das folgende Beispiel zeichnet Spektralanalysedaten in zwei Kanälen eines Stereopuffers auf ~ und ermöglicht es uns dann, die **Aufzeichnung mit einer anderen Geschwindigkeit neu zu synthetisieren, ohne die ursprüngliche Tonhöhe zu ändern. Dies ist als Zeitdehnung** (oder Zeitkomprimierung bei Beschleunigung des Klangs) **bekannt und seit den 1970er Jahren eine der wichtigsten Anwendungen des STFT.**



Aufnahme und Wiedergabe in einem pfft ~ Subpatch

Der beispielhafte Subpatcher zeichnet Spektraldaten links in einem puffer~ auf und liest rechts Daten aus diesem puffer~. Im Aufzeichnungsteil des Unterfelds werden wir feststellen, dass wir nicht nur die Amplitude und Phase als Ausgabe von cartopol~ aufzeichnen, sondern stattdessen das framedelta~ -Objekt verwenden, um die Phasendifferenz (manchmal als Phasenabweichung oder Phase bezeichnet) zu berechnen quasi als Derivat.

➔**Die Phasendifferenz ist ganz einfach die Phasendifferenz zwischen äquivalenten Bin-Positionen in aufeinanderfolgenden FFT-Rahmen.** Die Ausgabe von framedelta~ wird dann in ein phasewrap~ -Objekt eingespeist, um sicherzustellen, dass die Daten zwischen -π und π richtig eingeschränkt sind. Nachrichten können vom übergeordneten Patch über das Sendeobjekt an das Objekt record~ gesendet werden, um die Aufzeichnung zu starten und zu stoppen und die Schleife zu aktivieren.

Im Wiedergabeteil des Subpatch verwenden wir einen Nicht-Signal-Einlass, um die frame-number für die Resynthese anzugeben. Diese Zahl wird mit der Spektralrahmengröße multipliziert und zur Ausgabe eines Zählobjekts addiert, das von 0 bis zur Spektralrahmengröße minus 1 zählt, um in der Lage zu sein, jeden Frequenzbereich in dem

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com

If it feels good, it must be in time!!

gegebenen Rahmen nacheinander unter Verwendung des index~ zum Lesen abzurufen beide Kanäle unseres puffers~. (Wir hätten auch den Synchronisationsausgang des fftin~ -Objekts anstelle von count~ verwenden können, verwenden jedoch die aktuelle Methode, um die Aufnahme- und Wiedergabeteile unseres Subpatch visuell zu trennen und um ein Beispiel dafür zu geben, wie wir feststellen werden, dass wir die Phase mithilfe des frameaccum~ -Objekts rekonstruieren, das durch Ausführen der Umkehrung von framedelta~ einen **Wert für die 'laufende Phase' akkumuliert. Wir** müssen dies tun, da wir die Analyserahmen möglicherweise nicht nacheinander mit der ursprünglichen Frequenz lesen, mit der sie aufgezeichnet wurden. Die Signale werden dann vom poltocar~ -Objekt wieder in reale und imaginäre Werte für fftout~ umgewandelt.

➔**Dies ist ein einfaches Beispiel für einen sogenannten Phasenvocoder. Mit Phasenvocodern können wir Signale unabhängig von ihrer Tonhöhe zeitlich strecken und komprimieren, indem wir FFT-Daten anstelle von Zeitbereichssegmenten bearbeiten.**

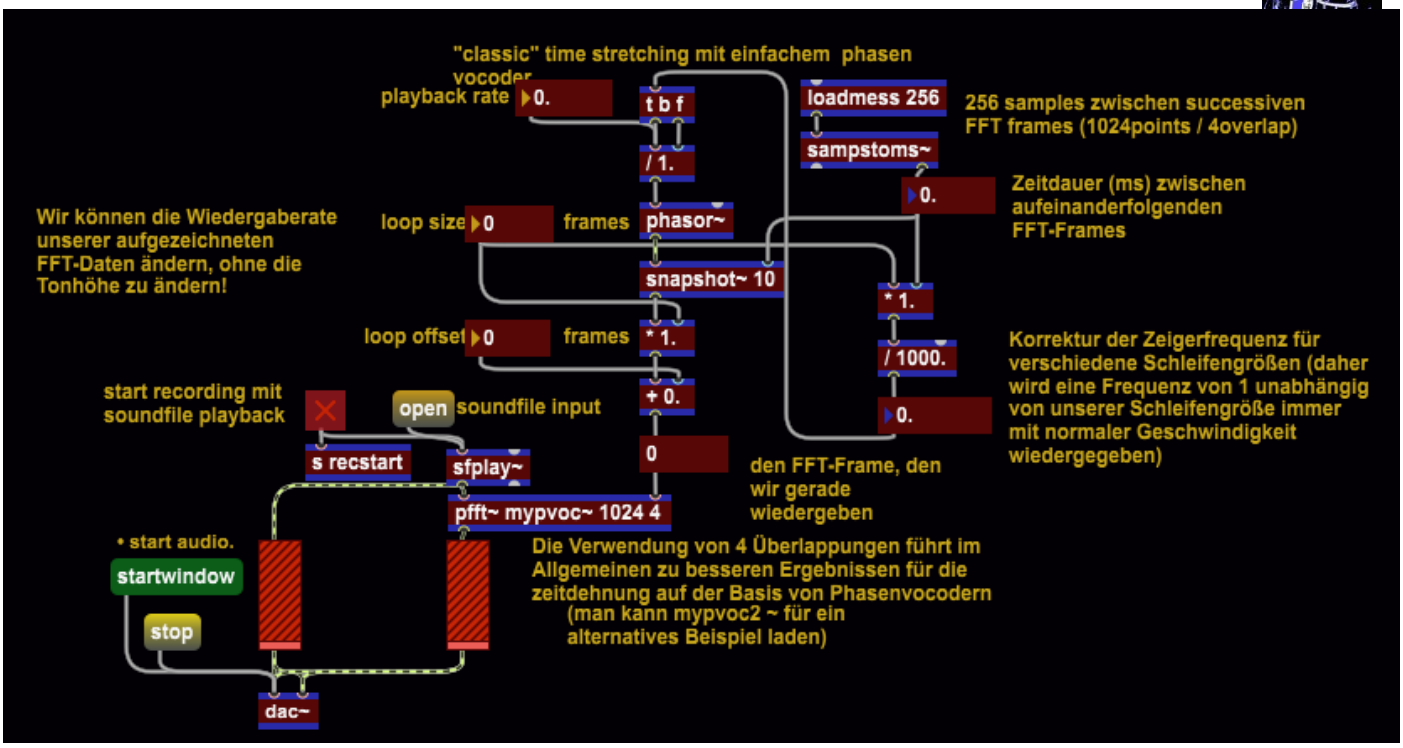
➔**Wenn man sich jedes Bild einer FFT-Analyse als ein einzelnes Bild in einem Film vorstellen,** können wir leicht erkennen, wie die Bewegung durch die einzelnen Bilder mit unterschiedlichen Frequenzen die scheinbare Geschwindigkeit ändern kann, mit der Dinge geschehen. **Dies ist mehr oder weniger das, was ein Phasenvocoder tut.**

Beachte: dass die Datenmenge, die im puffer~ gespeichert werden kann, von den Einstellungen des pfft~ -Objekts abhängt, da pfft~ Fenster überlappt. Dies kann das korrekte Einstellen der Puffergröße zu einer ziemlich schwierigen Angelegenheit machen, insbesondere da die spektrale Rahmengröße (d.h. die Signalvektorgröße) innerhalb eines pfft~ die Hälfte der FFT-Größe beträgt, die als zweites Argument angegeben ist, und weil das spektrale Subpatch Abtastwerte verarbeitet die eine andere Frequenz als der übergeordnete Patch haben!
Wenn wir einen Stereopuffer ~ mit 1000 Millisekunden Samplespeicher erstellen, stehen 44100 Samples für unsere Analysedaten zur Verfügung.

Wenn unsere FFT-Größe 1024 beträgt, nimmt jeder Spektralrahmen 512 Abtastwerte des Speichers unseres Puffers auf, was 86 Rahmen von Analysedaten entspricht (44100/512 = 86,13). **Diese 86 Bilder repräsentieren jedoch keine Sekunde Ton! Wenn wir eine 4-fache Überlappung verwenden, verarbeiten wir alle 256 Abtastwerte einen Spektralrahmen, sodass 86 Rahmen ungefähr 22050 Abtastwerte oder eine halbe Sekunde Zeit in Bezug auf das übergeordnete Patch bedeuten.** Wie wir sehen, kann dies alles ziemlich kompliziert werden ...

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com
If it feels good, it must be in time!!

Werfen wir einen Blick auf den übergeordneten Patch für das obige Phase-Vocoder-Subpatch (genannt mypvoc~):



Wrapper für mypvoc

Beachte: dass wir ein Zeigerobjekt mit einem snapshot+ Objekt verwenden, um eine Rampe zu generieren, die den Leseort in unserem Unterfeld angibt. Wir könnten auch ein Linienobjekt oder sogar einen Schieberegler verwenden, wenn wir unsere Analyserahmen von Hand 'schrubben' möchten. Mit unserem Haupt-Patch können wir die Wiedergaberate für eine Schleife unserer Analysedaten ändern. Wir können auch die Schleifengröße und einen Versatz in unserer Sammlung von Analyserahmen angeben, um einen bestimmten Abschnitt der Analysedaten mit einer bestimmten Wiedergaberate zu schleifen.
➔Wir werden feststellen, dass das Ändern der Wiedergaberate nicht die Tonhöhe, **sondern nur die Geschwindigkeit beeinflusst.** Möglicherweise stellen wir auch fest, dass bei sehr langsamen Wiedergaberaten bestimmte Teile Ihres Klangs (normalerweise Notenangriffe, Konsonanten in der Sprache oder **andere perkussive Klänge) eher „verschmiert" werden und eine künstliche Klangqualität erhalten.**

Zusammenfassung

Wrapper für mypvoc

Die Verwendung von pfft~ zur Durchführung der Signalverarbeitung im Spektralbereich ist im Allgemeinen einfacher und visuell klarer als die Verwendung der herkömmlichen fft~ - und ifft~ -Objekte und ermöglicht das Entwerfen von Patches, die bei unterschiedlichen FFT-Größen und Überlappungen verwendet werden können.
➔ Es gibt unzählige Anwendungen von pfft~ für

MSP
Signal Processing mit pfft~

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com

die musikalische Signalverarbeitung, einschließlich Filterung, Kreuzsynthese und Zeitdehnung.

If it feels good, it must be in time!!

Siehe auch

Name	*Description*
Sound Processing Techniques	Sound Processing Techniques
adstatus	Report and control audio driver settings
cartopol~	Signal Cartesian to Polar coordinate conversion
dspstate~	Report current DSP settings
fftin~	Input for a patcher loaded by pfft~
fftout~	Output for a patcher loaded by pfft~
framedelta~	Compute phase deviation between successive FFT frames
pfft~	Spectral processing manager for patchers
phasewrap~	Wrap a signal between π and -π
poltocar~	Signal Polar to Cartesian coordinate conversion

MSP Analysis Tutorial 3: Using the FFT

MSP Tutorials: Table of Contents

MSP Delay Tutorial 1: Delay Lines

Eine Fensterfunktion legt in der digitalen Signalverarbeitung fest, mit welcher Gewichtung die bei der Abtastung eines Signals gewonnenen Abtastwerte innerhalb eines Ausschnittes (Fenster) in nachfolgende Berechnungen eingehen.

➔**Fensterfunktionen kommen** bei der Frequenzanalyse (z.B. mittels diskreter Fouriertransformation), beim Filterdesign, beim Beamforming und anderen Signalverarbeitungsanwendungen zum Einsatz.

➔**Fensterfunktionen wie das Hanning Window** sind in der digitalen Signalverarbeitung weit verbreitet, um bei diskreten Fourier-Transformationen Artefakte zu minimieren.

Wie die Hanning-Fensterung funktioniert und wie sie sich auf das Spektrum auswirkt sehen wir folgend.

Mit einem Hanning Window können wir einen Signalausschnitt

MSP
Signal Processing mit pfft~

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com

If it feels good, it must be in time!!

manipulieren, um Fehler in einer diskreten Fourieranalyse zu reduzieren. Wozu es ange-wendet wird und was es bewirkt, lässt sich folgendermaßen zusammen-fassen:

1. Mit einer Fouriertransformation überführen wir ein zeitliches oder räumliches Signal in ein Spektrum.
2. In dem folgenden Beispiel zur FM-Synthese und in einem anderen Script ausführlicher findet man die Grundlagen Das YouTube-Video hier zeigt die Zeitreihe eines komplexen Klangs und sein Spektrum.

vorhanden Native.

3. Wenden wir die Fouriertransformation über

   einen endlichen Ausschnitt ihres Zeitsignals an, können

   Fehler - auch Artefakte genannt - entstehen.

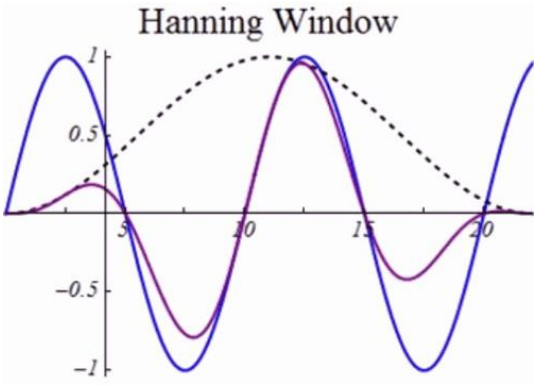
4. **Sind Frequenzen im Signal enthalten, deren Periode kein ganzzahliges Vielfaches der Fensterlänge** ist, "leckt" die Frequenz bei der Transformation in benachbarte Frequenzen. Dieses Phänomen wird als **"Spectral Leakage"** bezeichnet.
5. Spectral Leakage von einem Signalausschnitt ohne Hanning Windowing können wir in diesem YouTube-Video sehen. Das Spektrum zeigt sehr hohe Amplituden von Frequenzen an, die deutlich höher als die eigentliche Frequenz sind.
6. **Spectral Leakage entsteht vor allem durch den steilen Anstieg am Anfang** ➔alles braucht Zeit!! und am Ende des Signalausschnitts.
7. Wir benötigen also eine Windowing-Funktion, um das Spectral Leakage zu reduzieren.
8. **Das Hanning-Fenster ist eine Funktion über die Dauer des** Signalausschnitts, von dem wir eine Fourieranalyse durchführen möchten. Wir multiplizieren jeden Wert des Signalausschnitts mit dem entsprechenden Wert der Hanning-Funktion.
9. **Die Hanning-Funktion lautet:**

   $1/2[1 - \cos(2 \pi n/T)]$, $n = 0, \ldots, T-1$

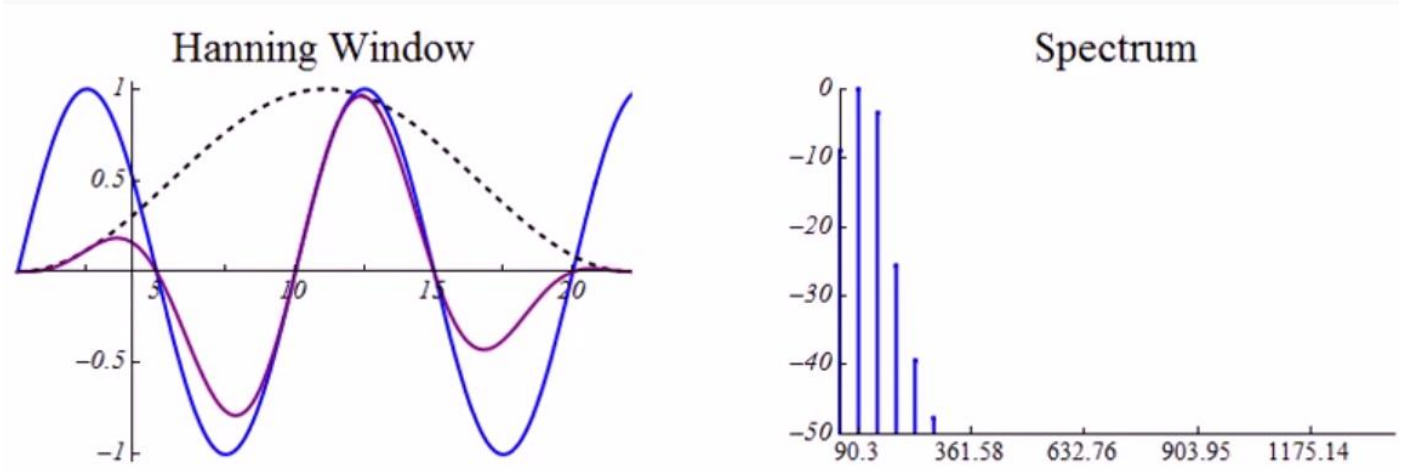
10. Die Abbildung zeigt einen

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com
If it feels good, it must be in time!!

11. Signalausschnitt (blau), **die Hanning-Funktion (gestrichelt)** und das Signal, das durch die Gewichtung des Ausschnitts mit dem Hanning-Window ensteht (violett).



12. Eine Fouriertransformation des so manipulierten Signals enthält deutlich weniger hohe Frequenzen. Dafür ist die Hauptkeule, also die Amplitude der direkten Nachbarfrequenzen, höher als ohne die Fensterung.



13. Ein YouTube-Video des gleichen Ausgangssignals - manipuliert durch Hanning-Windowing - verdeutlicht die Reduzierung des Spectral Leakages.
14. **➔Nach einer inversen Fouriertransformation müssen wir die Fensterung rückgängig machen, um wieder das Ausgangssignal zu erhalten.**

Udo matthias 07626-2 999 847
mobil: 017621-605276
http://www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
info@udomatthias.com
If it feels good, it must be in time!!

Anhang Hanning Fuktion

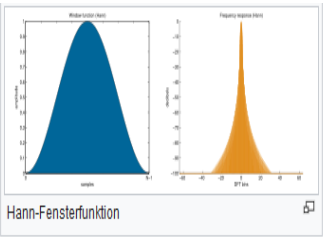
Das Von-Hann-Fenster basiert auf einer Überlagerung von drei spektral gegeneinander verschobenen si-Funktionen um gegenüber dem Rechteck-Fenster mit nur einer si-Funktion im Spektrum eine stärkere Unterdrückung der Nebenkeulen zu erreichen. Der Nachteil ist eine Reduktion in der Frequenzauflösung.[1] Das Von-Hann-Fenster mit der Haversine-Funktion wird auch als Raised-Cosinus-Fenster bezeichnet, mit folgender Funktion:

$$w(n) = \frac{1}{2}\left[1 - \cos\left(\frac{2\pi n}{M-1}\right)\right] = \mathrm{hvs}\left(\frac{2\pi n}{M-1}\right),$$

mit

$$n = 0, \ldots, M-1.$$

Dies ist auch in nebenstehender Abbildung dargestellt.


Hann-Fensterfunktion

Daneben wird in der Literatur auch die symmetrische Darstellung mit der Havercosine-Funktion um $n = 0$ und ohne Phasenversatz verwendet:

$$w(n) = \frac{1}{2}\left[1 + \cos\left(\frac{2\pi n}{M-1}\right)\right] = \mathrm{hvc}\left(\frac{2\pi n}{M-1}\right)$$

und in diesem Fall mit dem Index im Bereich

$$n = -\frac{M}{2}, \ldots, \frac{M}{2} - 1.$$

Die Bezeichnung Hann-Fenster stammt aus der Publikation *„Particular Pairs of Windows"*[2] von R. B. Blackman und John W. Tukey, die dieses nach Julius von Hann benannt haben. Aus diesem Artikel stammt auch die weit verbreitete Bezeichnung **Hanning-Fenster**, wobei dort jedoch lediglich die Anwendung des Hann-Fensters als „hanning" (abgeleitet von „to hann") bezeichnet wird.

https://www.youtube.com/watch?v=FjmwwDHT98c

https://www.youtube.com/watch?v=ukBDzUj8vgY

MIT Courseware
https://www.youtube.com/watch?v=iTMn0Kt18tg

https://www.youtube.com/watch?v=htCj9exbGo0

Laplace:➔ https://www.youtube.com/watch?v=ZGPtPkTft8g