

Moderne Modulationsarten für Modellfernsteuerungen

Frank Tofahrn

Im folgenden Beitrag soll der Stand der Technik der Funkübertragung bei heutigen Modellfernsteuerungen kurz beleuchtet werden und ein Ausblick auf das geworfen werden, was an Verbesserungen im Funkübertragungsverfahren möglich wäre. Die Art der Kodierung der zu übertragenden Daten (also PPM oder PCM) soll hier nicht betrachtet werden. Das ist, alleine vom Umfang her, ein eigenständiges Thema.

Grundsätzliches

Für die Fernsteuerung von Modellen stehen in Europa verschiedene Frequenzbereiche zur Verfügung. Alle diese Frequenzbereiche teilen sich in eine Anzahl von jeweils 10kHz breiten Kanälen auf. Unabhängig von der Frequenz ist es also dieser Kanalabstand von 10kHz, der die Bandbreite der Aussendung eines R/C-Senders zwingend festlegt. Alle Modell-R/C Systeme müssen sich also an diesem 10kHz-Raster orientieren und unterliegen dadurch Einschränkungen bezüglich der Kombination von Datenrate, Modulationsart und Modulationsparametern. Ziel der Technik sollte es sein, innerhalb dieser festen Vorgabe von 10kHz Bandbreite ein Maximum an Datenrate bei hoher Übertragungssicherheit und tragbarem technischen Aufwand zu realisieren.

Und genau da versagt die aktuell verwendete Technik kläglich!

Die heute verwendete FM-Technik ist vor ca. 25 - 30 Jahren eingeführt worden und wird seit dem unverändert angewendet. Es hat seitdem seitens der Hersteller von R/C-Anlagen keinerlei Innovation in diesem Bereich gegeben und ohne äußeren Anstoß wird da auch wohl nichts passieren. In Zeiten, in denen mit einer Displaybeleuchtung als "Meilenstein der Fernsteuertechnik" geworben wird, sollten wir die Hoffnung auf Innovation durch die Marktführer begraben, und zwar ganz schnell und ganz tief.

Notwendiges

Es ist wohl kaum in Frage zu stellen, dass die Übertragung eines am Sender gegebenen Kommandos möglichst schnell auf der Modellseite in eine Aktion umgesetzt werden soll. Diese Verzögerungs- oder Latenzzeit sollte in einem Rahmen gehalten werden, der den Modellpiloten in seiner Aktion nicht behindert. Ob Auto, Boot oder Flugzeug ist dabei vollkommen belanglos (es gibt auch sehr schnelle Boote und Autos und sehr langsame Modellflugzeuge). Ziel der Technik muss es daher sein, diese aus der Übertragung resultierende Verzögerung möglichst gering zu halten. In der Praxis bedeutet das, dass eine möglichst hohe Datenübertragungsrate angestrebt werden muss. Das begrenzende Element für die Datenrate im Funkkanal sind die 10kHz Kanalbandbreite, an denen zunächst mal nicht zu rütteln ist und die auch in Zukunft nicht verhandelbar sein wird. Das Ziel muss es also sein, eine Übertragungstechnik zu finden, die mit dem raren Gut Kanalbandbreite effizient umgeht. Im Klartext heißt das, eine Modulationsart zu finden, die in die gegebenen 10kHz möglichst viele Bit/Sekunde zwängen kann.

Ein zweiter und weit wichtigerer Punkt ist die Sicherheit der Funkübertragung. Bei einem kleinen Modellauto, mit dem ich im Wohnzimmer vor meinen Füßen rumfahre, mag dieser Gesichtspunkt nicht so relevant sein wie bei einem mehrstrahligen Jet, der mit 100kg Kampfgewicht mit Mach 0,5 unterwegs ist. Um es hier mal ganz klipp und klar zu sagen: Wir arbeiten selbst bei sehr schnellen, großen, schweren und feuergefährlichen Modellen, die das Zerstörungspotential einer Panzergranate haben, mit einer absolut ungesicherten Funkverbindung und verlassen uns auf das Prinzip Hoffnung. Wir senden mal was und hoffen, das es ankommt (im Idealfall sogar rechtzeitig). Also mir ist bei dem Gedanken nicht so richtig wohl. Hier wäre ein sehr weites Feld für Innovationen um die Sicherheit der Funkübertragung zu erhöhen.

Mögliches

Es ist ja nun nicht so, als ob sich diese Problematiken nicht schon in anderen Bereichen des Lebens und seiner funktechnischen Anwendungen gestellt hätten. Es soll ja Bereiche der Technik geben, die etwas innovationsfreudiger sind als die der Modellbautechnik. Deshalb gibt es mittlerweile zahlreiche Funkanwendungen, die das können, was in der R/C-Technik wünschenswert wäre. Nehmen wir ein paar Beispiele aus dem täglichen Leben:

GSM: Hohe Datenrate, minimales Gerätevolumen, sehr gut geeignet für mobile Anwendungen, sehr resistent gegen schlechte Ausbreitungsbedingungen (hat jeder).

GPS: Arbeitet mit minimalsten Signalpegeln, minimalstes Hardwarevolumen, praktisch unstörbar (haben viele).

Bluetooth: Hohe Datenrate, absolut minimale Hardwareabmessungen, schwer zu stören (haben auch viele).

WDCT: Hohe Datenrate, sehr gut für mobile Anwendungen geeignet, sehr resistent gegen schlechte Ausbreitungsbedingungen, praktisch unstörbar (WDCT ist eine Anpassung von DECT auf den amerikanischen Markt. Hat in Europa kaum einer, ist aber ein schönes Beispiel).

Das alles sind Technologien aus dem Low-Cost-Bereich, die im Massenmarkt implementiert und bei "Der Mutter aller Schnäppchen oder Geiz ist geil" zu kaufen sind. Im High-End Bereich gäbe es da noch viele, sehr schöne Sachen zu denen man neidisch aufschauen kann. Da wird es dann aber auch etwas sehr kostspielig. Also wenden wir unseren Blick lieber woanders hin.

Kassensturz

Die Technologie, die für eine zeitgemäße R/C-Technik notwendig wäre, ist greifbar. Was wir haben ist eine Technik, die irgendwann zwischen dem 1. und dem 2. Weltkrieg verfügbar wurde! Da wurden die ersten FM-Funkgeräte gebaut! Die Frage ist, warum gibt es im Bereich der Consumer-Elektronik Lösungen, die der aktuellen Technik im R/C-Bereich so um Lichtjahre überlegen sind? Also etwas beschämend ist das schon, oder?

Betrachtung der Modulationsarten. Die Senderseite

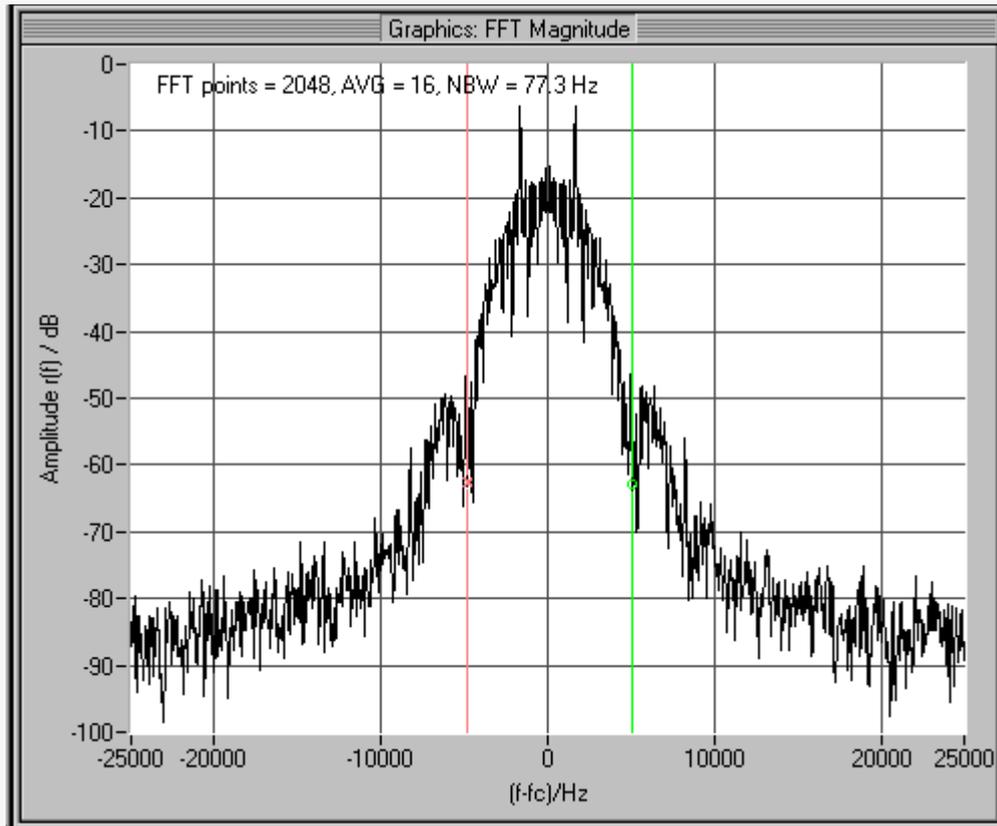
Auf der Senderseite gibt es eine starre und nicht verhandelbare Anforderung, der alle Modulationarten, die in einem Fernsteuerband angewendet werden sollen, zwingend genügen müssen:

Das gesendete Signal MUSS(!) in einen 10kHz breiten Kanal passen

Unter dieser Randbedingungen sollen hier einige Modulationsarten betrachtet werden.

Standard-Frequenzmodulation:

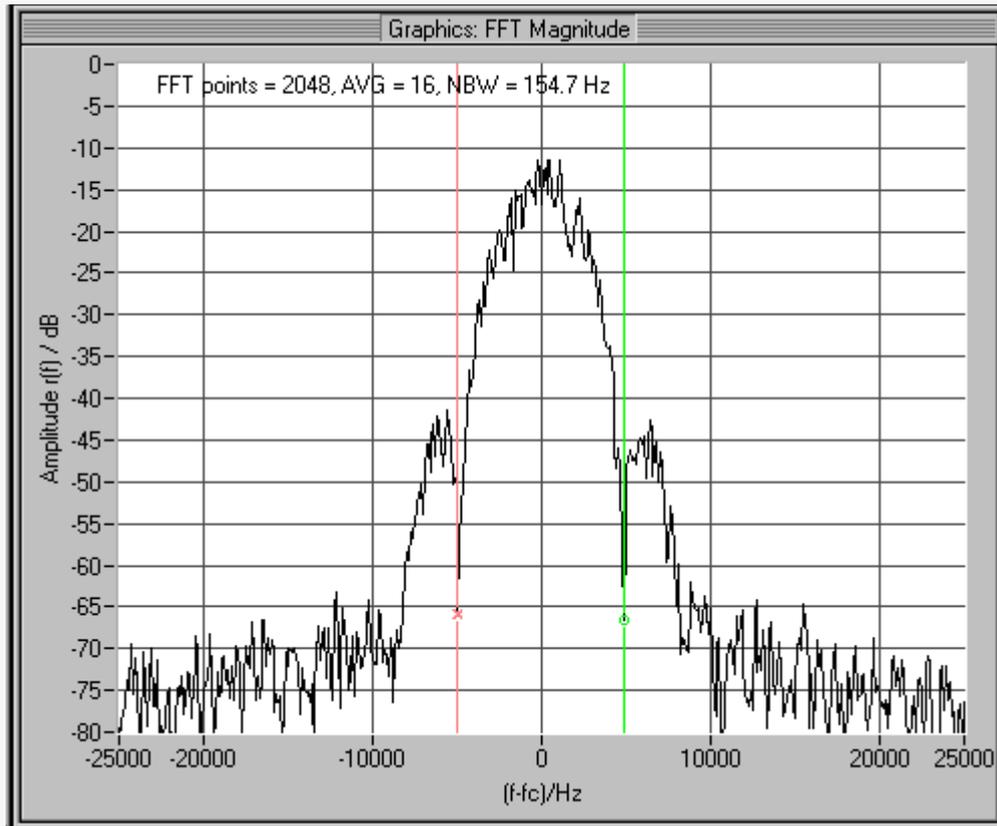
Das Bild zeigt das Spektrum eines PCM-Senders mit einer Bitrate von 3,3kBit/s und 3,3kHz Hub. Das entspricht ungefähr einem handelsüblichen PCM-Sender. Die beiden Marker zeigen die Grenzen des Kanals an.



Mit dem Hauptanteil des Spektrums ist der Kanal voll ausgenutzt. Ein PPM-Signal sieht ähnlich aus.

Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK):

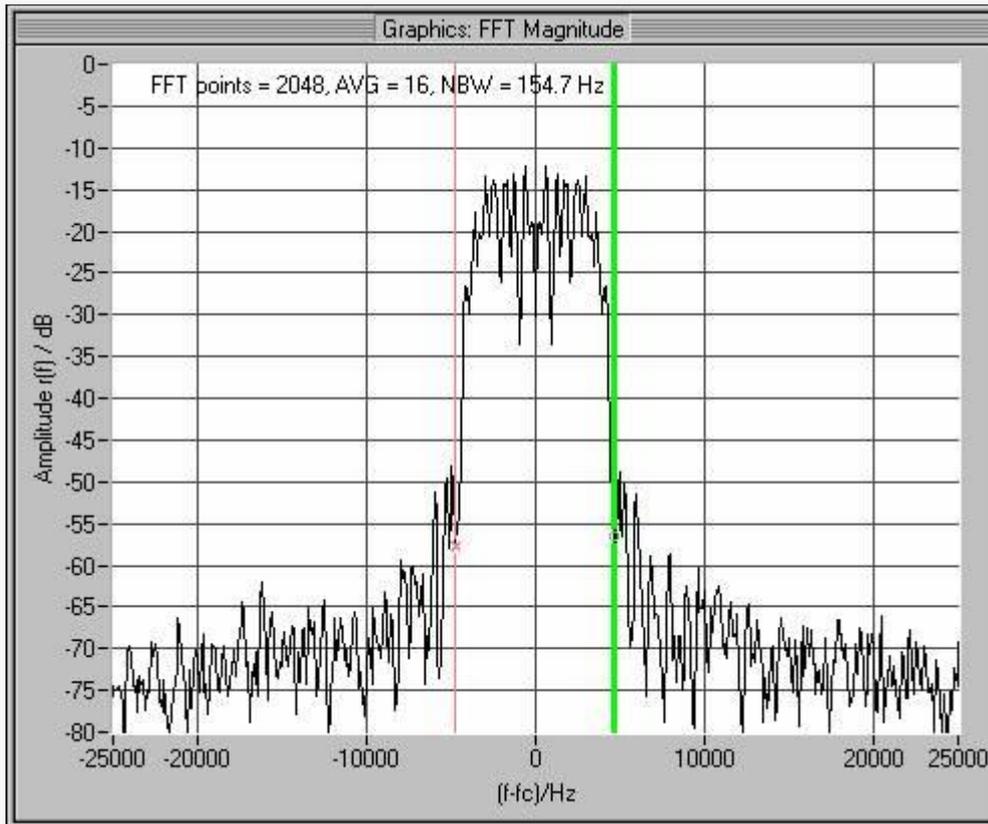
Das Bild zeigt das Spektrum eines GMSK-Signals mit einer Bitrate von 6,6kBit/s. Die beiden Marker zeigen die Grenzen des Kanals an. GMSK ist eine Spezialform der Frequenzmodulation.



Mit dem Hauptanteil des Spektrums ist der Kanal voll ausgenutzt. Im Vergleich zu FM steht aber die doppelte Datenrate zur Verfügung. Diese Modulationsart ist übrigens die der GSM-Handies.

Binary Phase Shift Keying (BPSK):

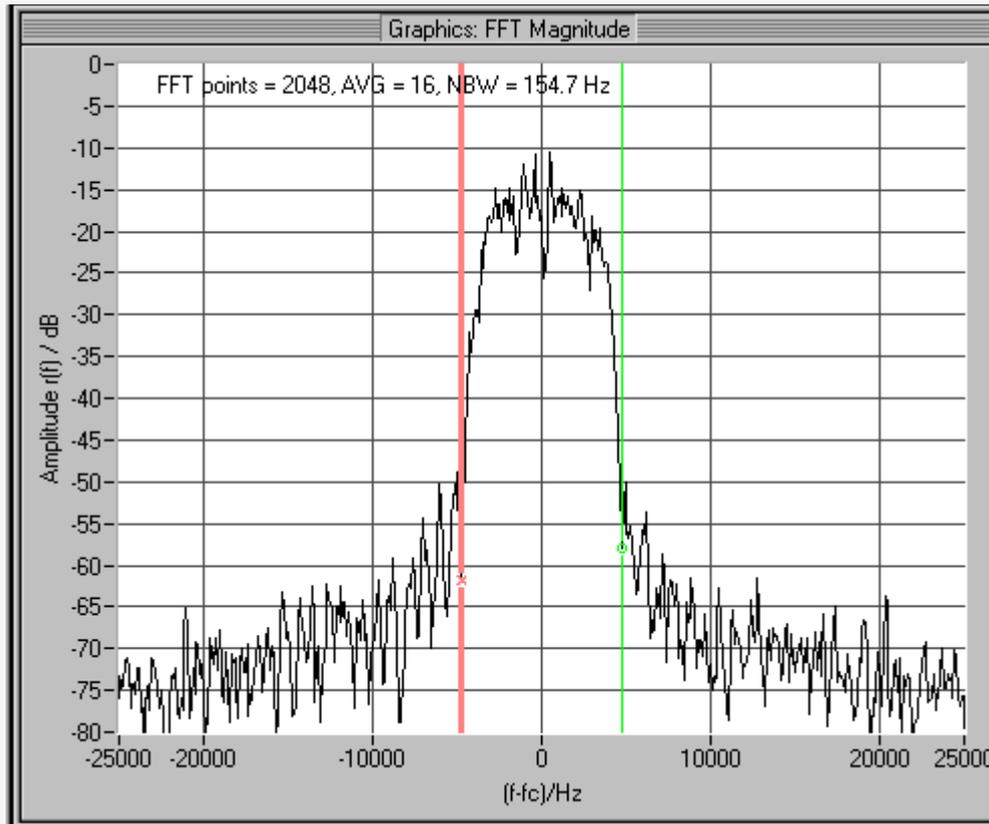
Das Bild zeigt das Spektrum eines BPSK-Signals mit 6,6kBit/s.



Auch hier passt das Spektrum genau in den Kanal. Die Datenrate ist doppelt so hoch wie bei FM.

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK):

Das Bild zeigt das Spektrum eines QPSK-Signals (QPSK = Quadrature Phase Shift Keying) mit 13,2kBit/s. Bei dieser Modulationsart gibt es 4 mögliche Zustände, so dass in einem Schritt 2 Bits übertragen werden. Damit sind wir bei einer Datenrate von 13,2kBit/s, dem vierfachen von FM.



Das Spektrum sieht praktisch genauso aus wie bei BPSK. In der Praxis würde man mit einer Spezialform dieser Modulationsart arbeiten. Die Gründe dafür zu erläutern sprengt aber hier den Rahmen. Diese Modulation bietet aber die gleiche Datenrate bei in der Realität etwas schmalere Spektrum.

Technische Realisierung der Modulationsarten auf der Senderseite

Um diese im Vergleich zu einfacher FM doch etwas komplexeren Modulationsarten realisieren zu können, ist natürlich ein Mehraufwand an Technik erforderlich. Benötigt wird ein kleiner DSP und ein leistungsfähiger Modulator (I/Q-Modulator), der alle die oben gezeigten Modulationen (und auch noch viele andere) darstellen kann. Die Kompatibilität zu den bisherigen Verfahren bleibt dabei vollständig erhalten, da diese Technik eine einfache FM problemlos realisieren kann. Diese Technik könnte nebenbei auch eine alte Tipp-Tipp-Anlage emulieren oder Musik senden. Der kostenmäßige Mehraufwand hält sich dabei in Grenzen, da diese zusätzlichen Funktionen mit hochintegrierten Chips "von der Stange" realisiert werden können.

Schlussfolgerungen für die Senderseite

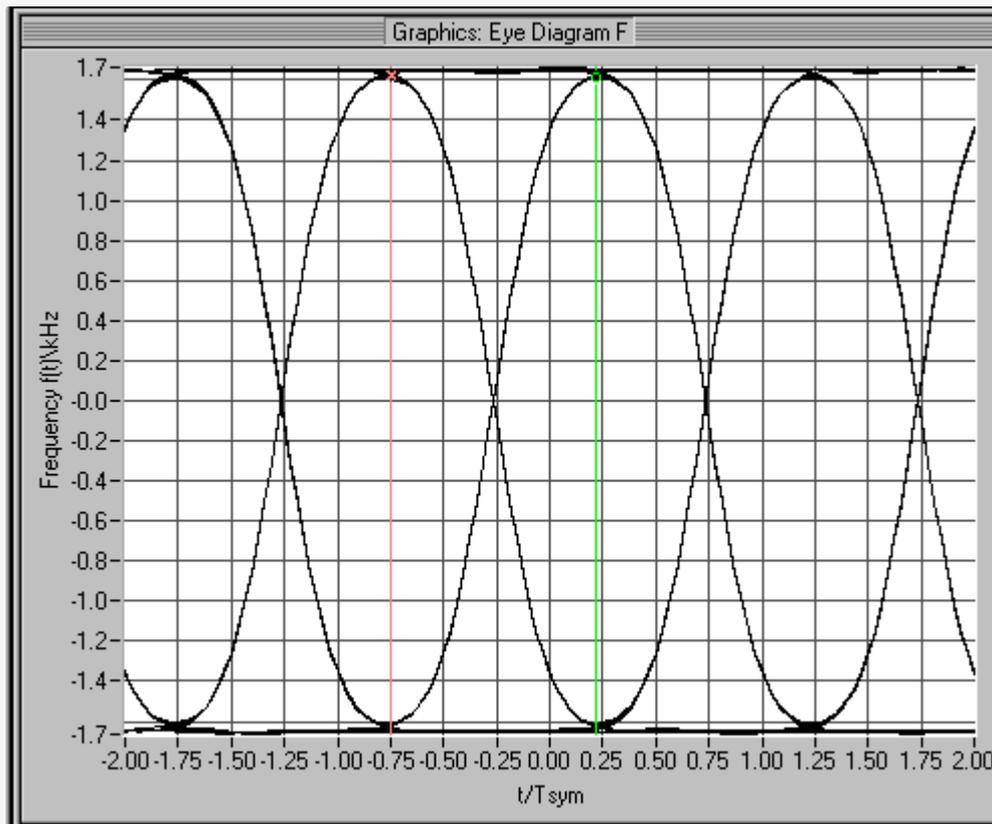
Wie man aus den Simulationsplots erkennen kann, ist es möglich, bei einem besser genutzten Spektrum ein Mehrfaches der Datenrate in einem Kanal zu übertragen als bei FM, wenn man Modulationsarten verwendet, die dem Stand der Technik entsprechen. Der dafür benötigte Aufwand an Hard- und Software ist zwar höher als für einen Standard-FM-Sender, die erforderlichen Chips gibt es aber als Standardbauteile "von der Stange". Die Verfahren und deren Implementation in Hard- und Software sind gut bekannt und somit unproblematisch. Die Senderhardware würde dadurch nur unwesentlich teurer und die Technik ermöglicht eine Abwärtskompatibilität zum bestehenden System. Eine Einschränkung soll aber schon hier aufgezeigt werden. Alle diese schönen, neuen Modulationsarten sind für PPM minder gut geeignet und können ihre Vorteile nur bei PCM voll ausspielen.

Betrachtung der Modulationsarten. Die Empfängerseite

Natürlich muss das gesendete Signal auch empfangen und demoduliert werden. Zur Beurteilung der Demodulation gibt es besondere Darstellungsarten, die eine einfache, qualitative Bewertung ermöglichen und die bei den einzelnen Beispielen erläutert werden.

FM Empfängerseite:

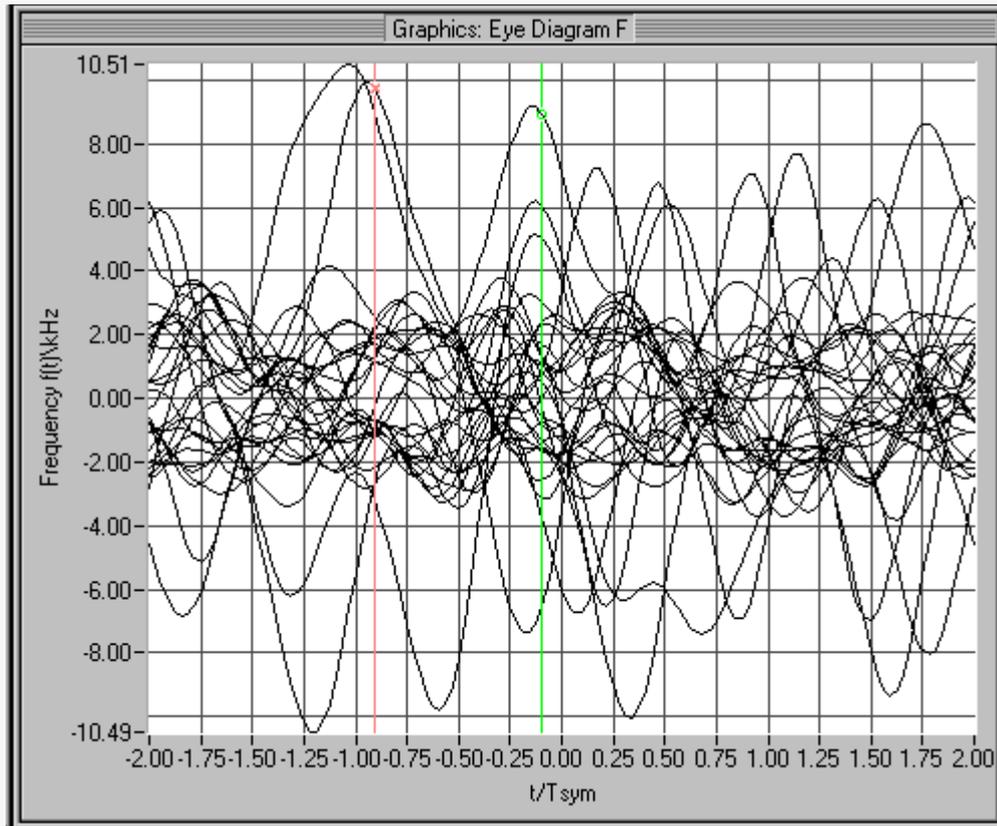
Ein demoduliertes, ungestörtes FM-Signal, also das, was am Ausgang des HF-Empfängers (nicht des Decoders) raus kommt, sieht so aus:



Die Ausgangsspannung des Demodulators ist in dem Bild auf einer Länge von 4 Bits immer wieder übereinander geschrieben (1024 Bits insgesamt). Die sinusförmigen Linien stellen die Übergänge von einer zur anderen Frequenz dar. Die Linien oben und unten repräsentieren die Zustände selber. Diese Darstellung wird als „Augendiagramm“ bezeichnet. Das Qualitätskriterium ist die Öffnung des „Auges“, also der Raum innerhalb der Sinuslinien. In diesem Bereich sollte sich keine Linie befinden. Alle Punkte, die auf der Frequency-Achse oberhalb von 0 befinden, stellen den einen logischen Zustand dar, alle unterhalb von 0 den anderen.

Ein solches Signal kommt aber im richtigen Leben praktisch nie vor. Das empfangene Signal beinhaltet immer Störungen irgendwelcher Art. Um die Auswirkung von Störungen beurteilen zu können, wird diesem Signal Rauschen hinzugefügt. Rauschen ist in der Nachrichtentechnik die Mutter aller Störungen und wird in der Nachrichtentechnik u.A. dazu benutzt, einen schlechten Übertragungskanal zu simulieren.

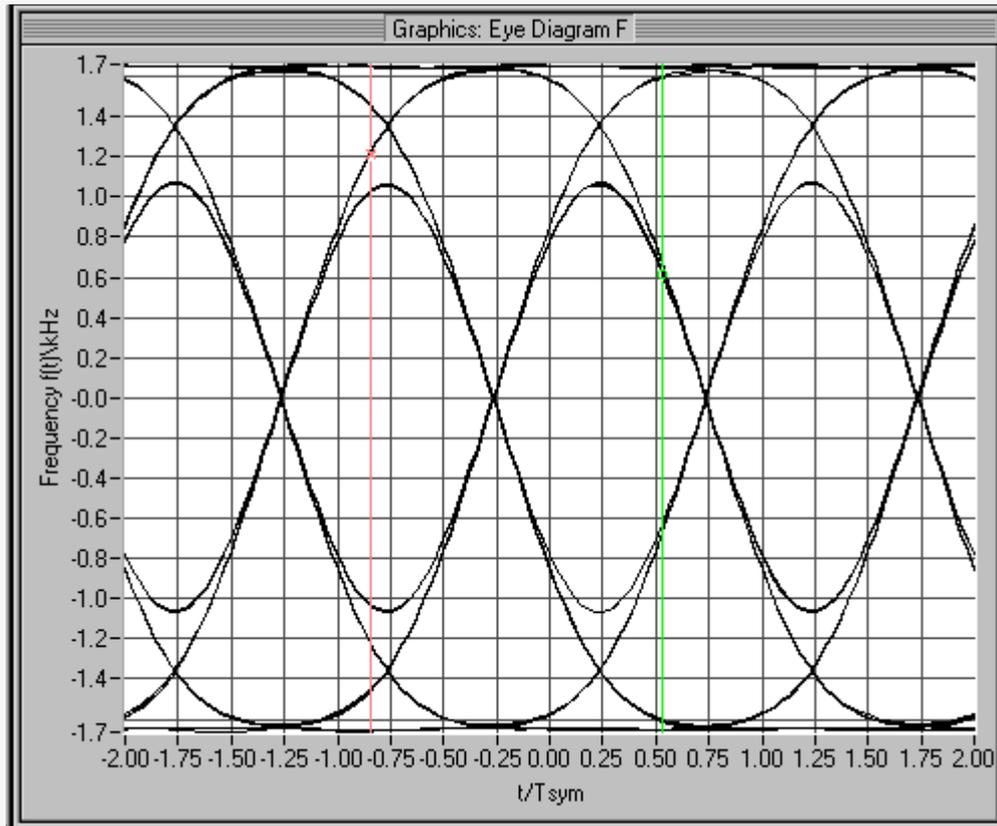
Fügen wir unserem idealen FM-Signal mal genügend Rauschen hinzu, ergibt sich folgendes Bild:



Diesem Signal ist auch mit viel Glück und gutem Willen keine Information zu entnehmen und es bedarf wohl keiner näheren Erklärung, warum man mit so was genau nichts mehr anfangen kann.

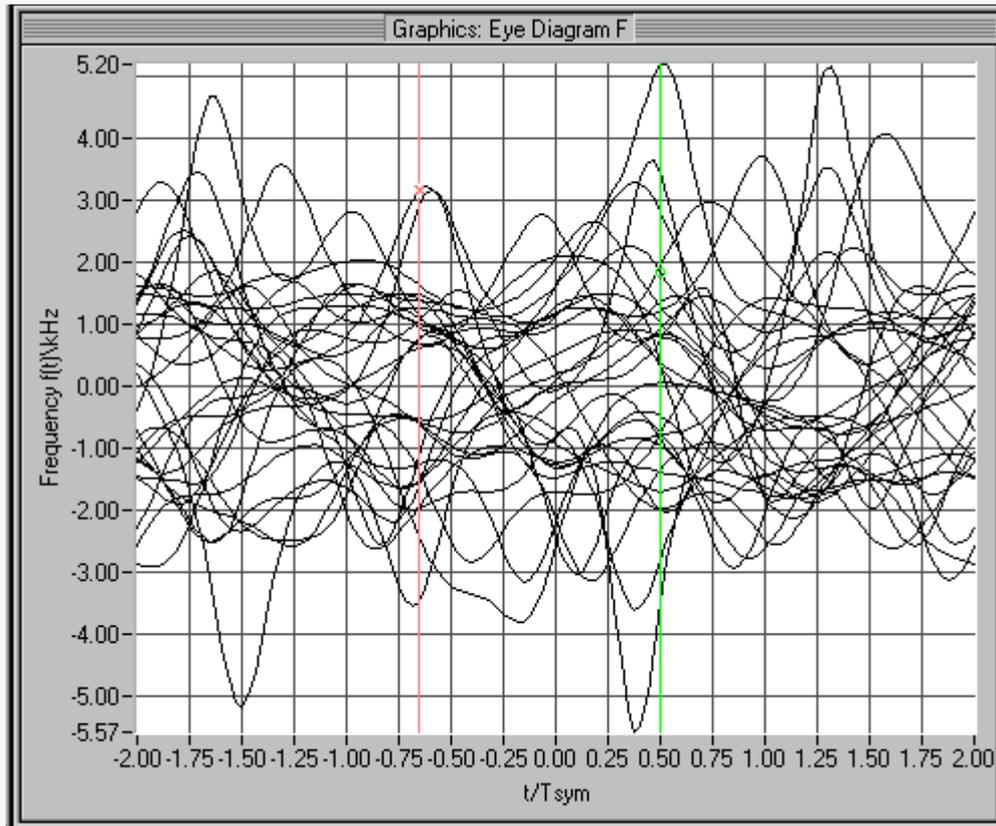
GMSK Empfängerseite:

Ein demoduliertes, ungestörtes GMSK-Signal, also das was am Ausgang des HF-Empfängers raus kommt, sieht so aus:



Die Bewertungskriterien für GMSK sind die gleichen wie für FM. Man sieht, dass die Augenöffnung schon bei ungestörtem Signal kleiner ist, als bei FM. Dieses kleinere Auge ist eine Eigenheit der Filterung bei GMSK.

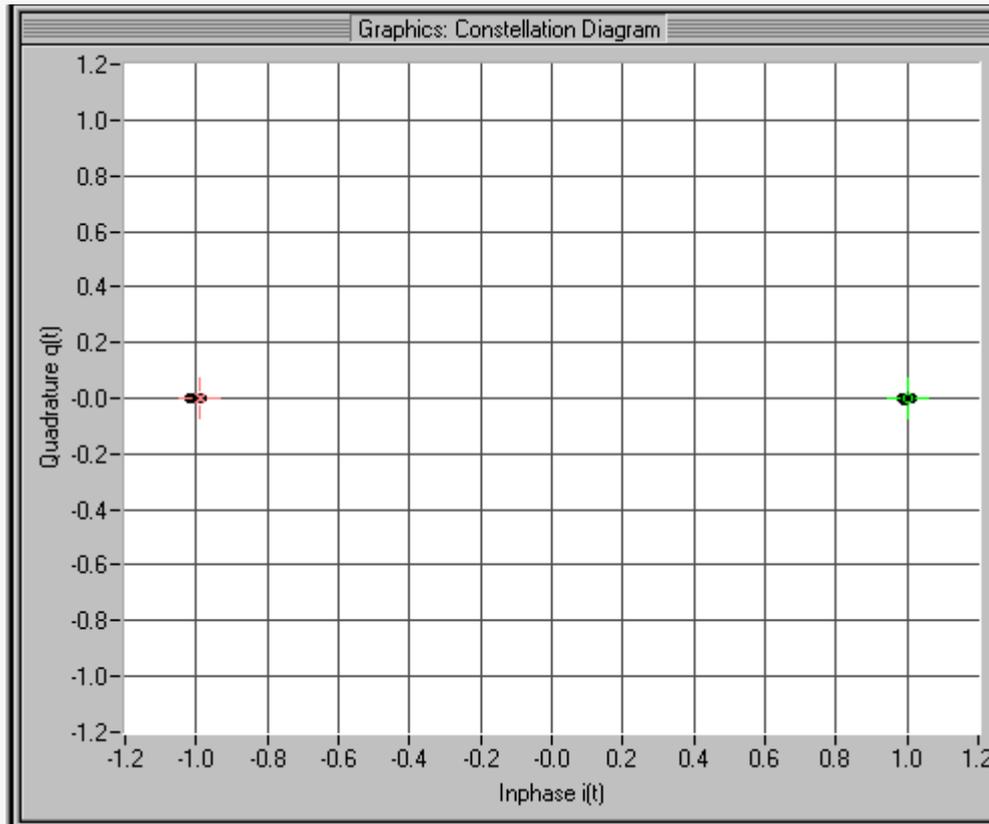
Jetzt kommt die gleiche Menge Rauschen wie bei FM dazu und wir sehen folgendes Bild:



Naja, auch das ist nicht der Brüller. Auch da ist nichts mehr zu retten. Aber wir haben die doppelte Datenrate von FM. In der gleichen Zeit können wir doppelt so viele Daten übertragen, ohne an Empfindlichkeit zu verlieren.

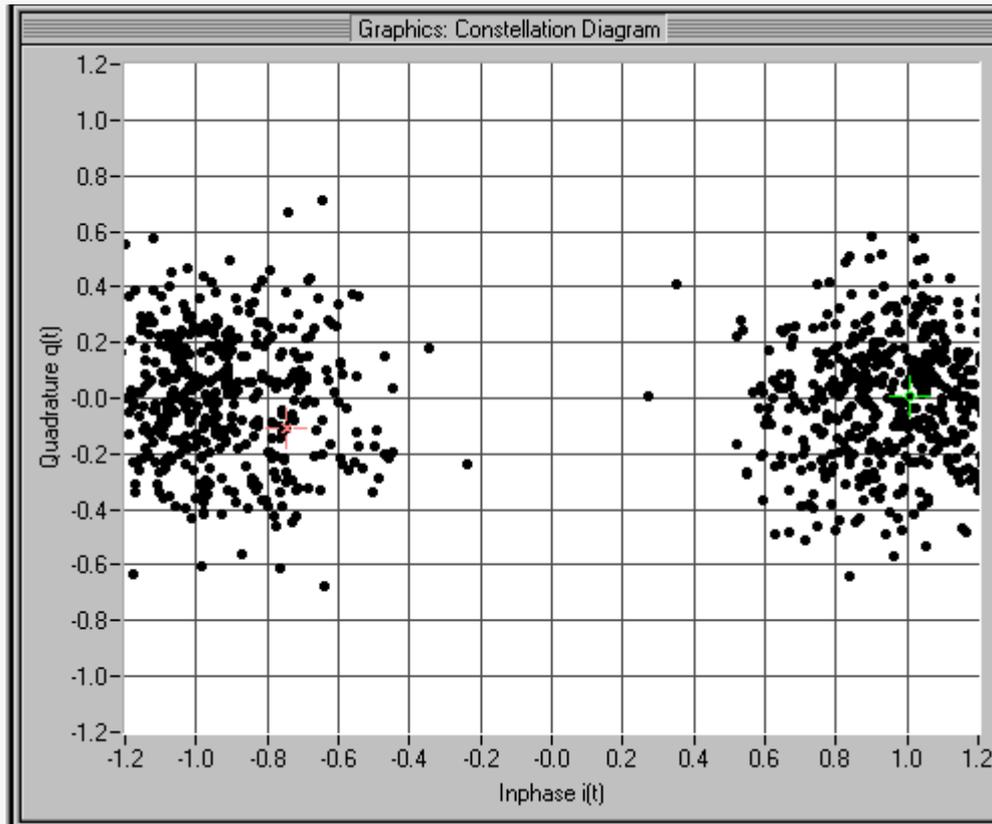
BPSK Empfängerseite:

Ein demoduliertes, ungestörtes BPSK-Signal, also das, was am Ausgang des HF-Empfängers raus kommt, sieht so aus:



Die Punkte (da, wo die Marker stehen) in der Darstellung repräsentieren die Lage der möglichen Bits im sog. Constellation-Diagramm. In diesem Diagramm ist der Wert der I- und Q-Anteile des Signals aufgetragen. Diese Punkte entsprechen der oberen und unteren Linie bei der Darstellung im Augendiagramm für FM. Bei BPSK ist im Q-Anteil keine Information enthalten. Das Qualitätskriterium ist der minimale Abstand der für I und Q auftretenden Punkte. Die Entscheidungsschwelle liegt bei 0 auf der I-Achse. Die Übergänge von einem zum anderen Zustand sind hier nicht aufgetragen, da das Bild dann sehr unübersichtlich würde.

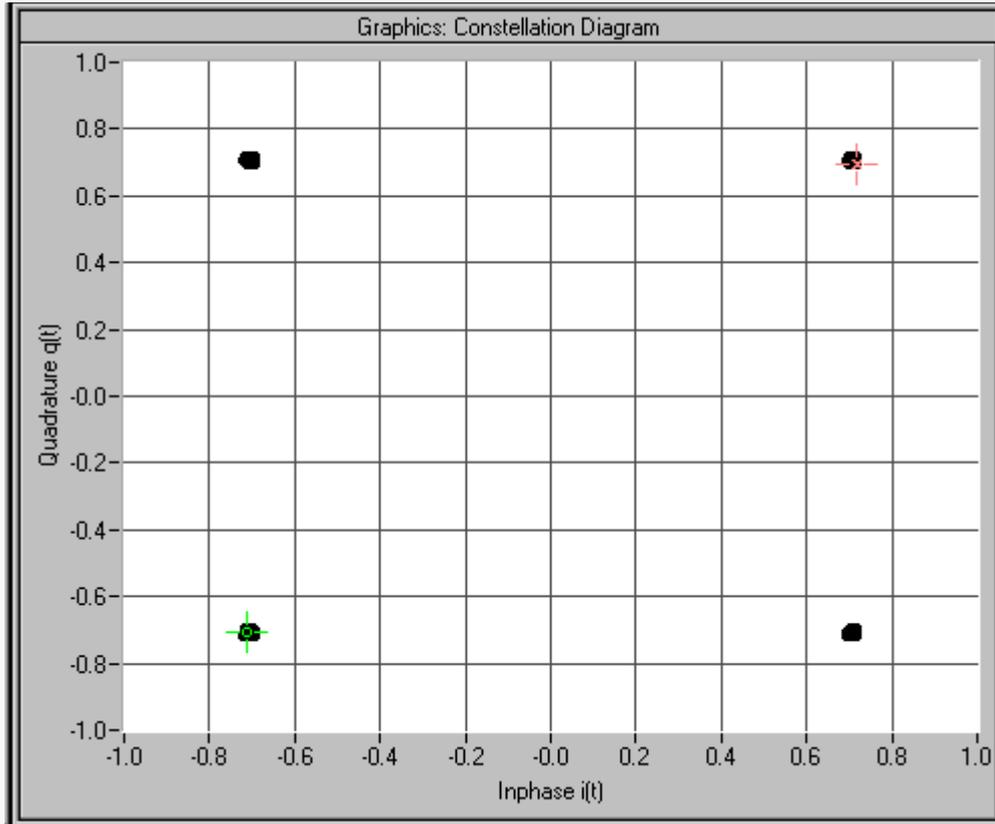
Jetzt kommt wieder unser schon bekanntes Rauschen ins Spiel.



Hier staunt dann der Fachmann und der Laie wundert sich. Man sieht eine Wolke von Nullen und eine Wolke von Einsen, die aber klar voneinander getrennt sind und eindeutig zugeordnet werden können. Der ursprüngliche Inhalt ist noch erkennbar und kann somit weiterverwendet werden. Und die doppelte Datenrate im Vergleich zu FM ist auch schon drin. Da ist eine deutliche Verbesserung erkennbar. Hinzu kommt noch, dass dieses Verfahren gegenüber Differenzen zwischen der genauen Sender- und Empfängerfrequenz (Quarztoleranz) deutlich unempfindlicher ist, als FM. Die Gründe dafür darzulegen würde hier aber auch wieder den Rahmen sprengen. Wie hat mein Mathe-Prof. immer so schön gesagt: "Nehmen Sie das jetzt mal als gegeben hin". Nur damit es nicht in Vergessenheit gerät: Der Anteil an Rauschen ist der gleiche wie bei FM.

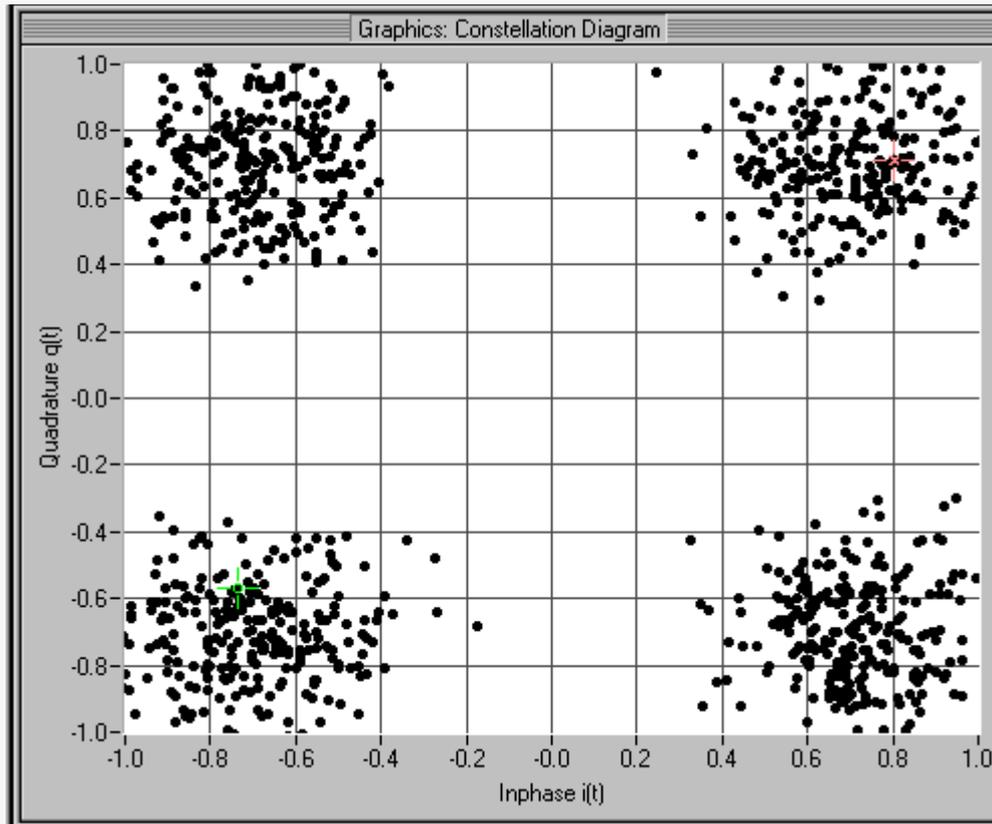
QPSK Empfängerseite:

Stellen wir nun noch die gleiche Betrachtung für QPSK an. Ein ungestörtes QPSK-Signal sieht so aus:



Bei QPSK gibt es 4 mögliche Zustände. Man kann sich diese Modulationsart als 2-mal BPSK, einmal im I-Kanal und einmal im Q-Kanal, vorstellen (das ist es tatsächlich). Da hier 2 Bits in einem Taktschritt übertragen werden, ist die Anzahl der übertragenen Bits doppelt so hoch, wie bei BPSK. Die Bitrate beträgt hier 13,2kBit/s. Das Bewertungskriterium ist analog zu BPSK, nur eben auf 2 Achsen.

Jetzt mischt unser Freund, das Rauschen wieder mit:



Das Bild sieht im Prinzip wie bei BPSK aus, nur auf 2 Achsen verteilt. Man sieht 4 Wolken, für jeden Zustand eine, die klar voneinander getrennt und somit auswertbar sind. Dieses Bild löst bei genauerer Betrachtung große Freude aus, da wir hier (bei gleichem Rauschen wie bei FM) ein Signal haben, mit dem man noch was anfangen kann und **gleichzeitig(!)** die **VIERFACHE(!)** Datenmenge rüberkommt. Als Sahnehäubchen kommt hinzu, dass auch diese Modulationsart gegenüber Differenzen zwischen Sender- und Empfängerfrequenz recht unempfindlich ist.

Technische Realisierung der Modulationsarten auf der Empfängerseite

Irgendwo muss die Medaille ja 'ne Kehrseite haben und die kommt hier: Der empfängerseitige Hardwareaufwand liegt deutlich höher, als bei einem simplen FM-Empfänger. Dabei gilt auch der Super-Deluxe-schweineteuere-Doppelsuper als (technisch) simpel! Die Anforderungen liegen hier deutlich höher, da eine Demodulation der beschriebenen Modulationsarten sinnvoll nur in Software erfolgen kann. Die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der analogen und digitalen Hardware im Empfänger ist erheblich. Da wird ein schon nicht mehr so ganz kleiner DSP und eine deutlich aufwendigere Hochfrequenzhardware notwendig. Sehr aufwendig ist der Bereich Software, um das empfangene Signal zu demodulieren. Aber auch das ist nicht unmöglich. In jedem Handy ist das z.B. realisiert und das in einer Komplexität, die die Anforderungen einer R/C-Anlage um mehrere Größenordnungen übersteigt.

Die Schlussfolgerung für die Empfängerseite

Der Aufwand ist deutlich höher, als für ein FM-System, bleibt aber in beherrschbarem Rahmen. Man wird etwas größere und auch teurere Empfänger in Kauf nehmen müssen. Allerdings bleibt die Technik auch hier ohne Einschränkung abwärtskompatibel zum jetzigen Standard. Was dabei allerdings unter die Räder kommt, ist PPM. Diese Art der Kodierung der zu übertragenden Information ist für die hier beschriebenen Modulationsarten denkbar ungünstig, da PPM ein ANALOGES(!) Übertragungsverfahren ist. Alle die, die euch erzählt haben, dass eure PPM-Anlage eine Digitalanlage sei, haben euch schamlos belogen ! Die selige Tipp-Tipp-Anlage war digital; PPM ist es definitiv nicht!

Alles das, was hier beschrieben ist, ist für PCM anwendbar.

HALT STOP!

Bevor jetzt hier der Glaubenskrieg um PPM und PCM wieder aufflammt, möchte ich einwerfen, dass man bei einer Neudefinition der Modulation gleich mal über eine Neudefinition von PCM nachdenken darf. Dazu weiter unten mehr.

Was haben wir nun davon?

Reden wir erst davon, was eine neue Modulationsart nicht kann:

Sie bietet keinen ultimativen Schutz vor Störungen z.B. durch Doppelbelegung der Frequenz. Allerdings ist die Toleranz der Verfahren höher angesiedelt als bei FM, so dass die Störungswahrscheinlichkeit abnimmt. Einen verantwortungsvollen Umgang mit der Kanalbelegung am Platz kann und soll das aber nicht ersetzen. Allerdings könnten auch zu diesem Thema technische Maßnahmen ergriffen werden. Mehr dazu weiter unten.

Was eine neue Modulationsart bieten kann, ist eine Vervielfachung der Datenrate und eine höhere Toleranz gegenüber Störungen. Diesen Zugewinn der höheren Übertragungsrate könnte man investieren in eine Sicherung der Datenübertragung, um während der Datenübertragung auftretende Fehler zu korrigieren. Bei PPM gibt es so was gar nicht und bei PCM können Fehler zwar erkannt, aber in keinem Fall korrigiert werden. Es gibt in der digitalen Datenübertragung eine Strategie, die sich FEC (Forward Error Correction) nennt. Dieses Verfahren ist in der Lage, in gewissen Grenzen aufgetretene Übertragungsfehler zu korrigieren. Dazu müssen allerdings redundante Informationen übertragen werden, die eine höhere Datenübertragungsrate notwendig machen. Da aber durch moderne Modulationsverfahren die mögliche Übertragungsrate vervielfacht werden kann, gewinnt man genügend Spielraum, um eine solche FEC zu realisieren. Geht man mal von einer Vervielfachung der Datenrate aus, könnte man z.B. 50% dieses Zugewinns in eine FEC und die anderen 50% in eine Halbierung der Latenzzeit des Systems stecken. Damit könnte die Resistenz unserer R/C-Anlage gegen Störungen deutlich erhöht werden, bietet aber keinen absoluten Schutz gegen Störungen, welcher Art auch immer.

Science Fiction oder man wird ja mal träumen dürfen

Schalten wir doch mal die ungezügelte Phantasie ein und stellen uns vor, wir kommen auf den Platz, schalten unsern Sender ein (ohne vorher zu fragen oder zu gucken, wer welche Frequenz hat) und nichts passiert. Wir werden nicht mal blöd angeguckt, weil alle anderen das auch so machen. Unsere Anlage nimmt uns diese Arbeit ab und sucht sich selbst eine freie Frequenz, einen freien Timeslot, einen freien Spreading-Code, eine freie Hop-Sequenz oder was immer sie gerade zum Betrieb braucht. Wir starten und im Flug bemerkt der Empfänger, dass der Übertragungskanal gestört wird. Daraufhin handelt der Empfänger mit dem Sender einen neuen und ungestörten Kanal aus, ohne dass wir überhaupt was davon merken. Die Steuerbarkeit und die umfassende Telemetrie vom Modell bleibt erhalten. Der Thermikschlauch, den wir gefunden haben, ist vom Allerfeinsten. Aber eben weit weg. So kommt die Grenze der Reichweite in Sicht und der missgünstige Hund von Fernsteuerung meckert uns an, dass es jetzt aber genug ist, sonst sei der Segler weg. Außerdem jammert die Telemetrie schon seit einiger Zeit rum, dass der Akku leer wird.

So, jetzt denkt ihr wahrscheinlich: **"Der hat ja nicht mehr alle Tassen im Schrank"**.

Nun (ganzvorsichtigdiehandheb), euer Schnurlostelefon oder Handy oder Blue-Tooth-Stick kann vieles davon. Solche Features sind nicht von sehr weit hergeholt.

Schalten wir die Phantasie wieder aus und kommen auf den Boden der harten Realität zurück. Innerhalb der für R/C-Anlagen zugewiesenen Frequenzbereiche kann man solche Gimmiks schlicht und einfach

vergessen. Dort ist von der regulatorischen Seite das festgeschrieben, was jetzt gemacht wird. Verlegt man sich aber auf andere Frequenzbereiche, in denen flexiblere Regularien gelten, sind bidirektionale Systeme, bei denen eine Kommunikation zwischen Sender und Empfänger stattfindet, denkbar. Damit wird dann ein automatischer Wechsel des Übertragungskanals im Störfall möglich. Das bedeutet, dass das System sich selbst einen ungestörten Übertragungskanal sucht, wenn es Probleme in der Funkverbindung erkennt. Damit wäre eine um Größenordnung sicherere Funkverbindung möglich. Mit entsprechendem technischen Aufwand könnte man das soweit treiben, dass die Verbindung mit zivilen Mitteln praktisch unstörbar wird. Kombiniert man so was noch mit einer Antennendiversity, ist noch mehr gewonnen (übrigens, euer DECT-Telefon hat mit hoher Wahrscheinlichkeit auch eine solche Antennen-Diversity).

Die Bidirektionalität (Verbindung vom Sender zum Modell UND! zurück) bietet dann gleichzeitig die Möglichkeit der Telemetrie, also Übertragung von Vario, GPS, Spannung, Strom, Temperatur, Drehzahl, Geschwindigkeit usw..

Die Technologie für die Realisierung all dieser schönen Sachen ist entweder schon vorhanden oder in sehr greifbarer Nähe. Als Beispiele seien hier als Standards Bluetooth oder ZigBee genannt, die alles das können, was wir gerne hätten. Da könnte man ja mal abgucken. Von besonderem Interesse wäre hier eine Adaption des ZigBee-Standards, aus dem man sich sinnvolle Features anschauen könnte und für den es mittlerweile hochinteressante und sehr leistungsfähige Transceiver-Chips gibt.

Das bittere Ende

Um die hier vorgestellten Techniken und die sich aus den zusätzlichen Features ergebenden Möglichkeiten zu realisieren, ist ein erheblicher Entwicklungsaufwand notwendig. Die Frage ist, wer diese Anstrengung auf sich nehmen kann. Sind es die großen, aber wohl eher behäbigen Hersteller, **kleinere, aber innovationsbereite Produzenten**, eine Interessengruppe der Anwender oder Kombinationen daraus?

Über eines muss man sich klar werden. Es gibt KEINE ! sichere Funkübertragung. Jede Funkverbindung kann gestört werden. Das ist nur eine Frage des Aufwandes, den man in den Störungsversuch steckt. Allerdings kann man Vorkehrungen treffen, die Störungswahrscheinlichkeit zu minimieren. Bei der aktuellen R/C-Technik ist seit dem Bestehen von Fernsteuerungen in dieser Hinsicht praktisch keine Anstrengung unternommen worden! Die heutige Übertragungstechnik unterscheidet sich in einem Punkt von dem Stand, den wir vor 30 Jahren hatten: Es wird keine AM mehr gemacht. Der Sicherheitsgewinn durch die Einführung der FM-Technik war marginal im Vergleich zu dem, was heute möglich wäre.

Das sollte uns zu denken geben. Es gibt viel zu tun. Packen wir es an.

Holm und Rippenbruch

Frank

Die Bezeichnungen *Blue-Tooth*, *ZigBee* und *R&S* unterliegen den Copyright der jeweiligen Rechteinhaber. Die Simulationen der Modulationsarten wurden mit der frei verfügbaren Software WINIQSIM von R&S erstellt.

Stand: 05.07.2004

◀ magazin home