

Die Qual der Wahl

Ein Bericht von:

[Wer den gesamten Artikel runterladen möchte, hier klicken!](#)

Peter Rother

PCM oder PPM? Was können sie, was leisten sie?

Heutzutage wird der Mensch überall mit Radiowellen konfrontiert. Viele von uns benutzen Funkthermometer oder das mobile GSM/Funktelefon (Handy), ohne sich der komplexen Vorgänge und der sehr anspruchsvollen Technik bewusst zu sein. Das brauchen wir auch nicht. Es kann kein Mensch direkt zu Schaden kommen, wenn die angezeigte Temperatur falsch ist, oder das Funkgespräch abbricht.

Ganz anders ist es bei uns Modellfliegern. Wir bewegen oft größere Modelle mit erheblichen Geschwindigkeiten in der Nähe von Menschen. Um der Gefahr eines Unfalls aus dem Weg zu gehen, sollten wir unsere Befehlsübertragung zum Modell zuerst verstehen und dann entsprechend der Anwendung optimieren. Die gesamte Signalkette, von der Pilotenhand bis zum Ruder im Modell, beinhaltet Abschnitte, die wir heute sehr gut kontrollieren können: das Abtasten der Steuerknüppel im Sender, mixen mit anderen Befehlen, Generieren und Abstrahlen des Radiosignals, oder am Ende der Kette das Ausführen der Bewegung mittels des Ruder - Servos. Der Abschnitt zwischen dem Sender und dem Empfänger wird leider durch viele denkbare Einflüsse gestört. Dazu gehören selbst verursachte Einflüsse, wie Kommutatorfunken im Antriebsmotor, eine falsch verlegte Antenne, oder fremde Einflüsse, wie allgemeine HF-Verseuchung unserer Landschaft durch feste, aber unbekannte Funkstrecken, Fernseh - und Radiosender oder mobile Kommunikation. Von Kanaldoppelbelegung will ich hier absehen.

Auf der anderen Seite steht die Fernsteueraufgabe, die für einen langsamen, stabilen Zwei-Achsen Softliner/Floater, der auch einige Sekunden allein fliegen kann, anders aussieht als für einen agilen Hubschrauber, der sofort, wegen der prinzipiellen Instabilität, abstürzen kann. Die Wiederholrate der RC-Steuerbefehle steht, infolge der Sicherheitsanforderungen, im direkten Zusammenhang mit der Servofolgenauigkeit, einem tolerierbaren Übertragungsausfall und der Möglichkeit, Störmeldungen an den Piloten zu senden, um ihm aus Sicherheitsgründen die vorzeitige Landung zu empfehlen.

FM Sender für PPM und PCM

Oft werden, im Unterschied zu PCM, PPM - Anlagen als FM bezeichnet. Man könnte meinen, PCM sei kein FM. Das ist falsch. PPM und PCM bedienen sich der gleichen Frequenzmodulation des 35 MHz-HF-Trägers. Die Funkkanäle sind 10 kHz breit, d.h. Kanal 68 mit einer nominalen Frequenz von $f = 35,080$ MHz belegt einen Kanal von 35,076-35,084. Der Kanal 69 wiederum von 35,086-35,094. Zwischen den Kanälen gibt es ein Schutzband von ca. 2 kHz. Dabei ist der Sender ein binär (nur zwei Zustände) FSKSender (Frequency Shift Keying), d.h., er sendet nur zwei Frequenzen, oberhalb der Kanalmitte $f+b$ oder unterhalb, $f-b$. Dabei macht der Modulationshub, $2*b$, ca. 3 kHz aus. Dadurch muss der Demodulator im Empfänger sich nun zwischen den zwei Frequenzen entscheiden. Viel einfacher als bei einem linearen Stereo-FM-Sender, wo der Demodulator unzählige Zustände, die die Musik repräsentieren, ausgibt. Der HF-Sender ist also für beide Modulationsarten gleich. Worin also besteht der Unterschied?

PPM Pulse Position Modulation

Nachdem die Elektronik die Position der Knüppel, Steller und Schalter im Sender ausgewertet hat, erzeugt sie acht Pulse. Die Pulslänge entspricht der Knüppelposition ganz links 1 ms, Mitte 1.5 ms und ganz rechts 2 ms. Acht solcher Pulse werden aneinander gereiht und mit einem überlangen Startpuls bis auf die Frame-Länge von 22,5 ms ergänzt. Der Startpuls kann also zwischen $22.5 - 8 \cdot 2 = 6.5$ ms, und $22.5 - 8 \cdot 1 = 16.5$ ms variieren ist also deutlich länger, als je ein Kanalimpuls sein könnte. Die 1-2 ms Pulse bestehen tatsächlich aus 0,5 - 1.7 ms High-Phase und 0.3 ms Low-Phase. Die High-Phase entspricht einer $f+b$ Sendefrequenz, die Low-Phase einer $f - b$ Sendefrequenz. Somit sendet der Sender abwechselnd $f+b$ und $f-b$.

Da oft fälschlicherweise behauptet wird, dass PCM bis zu zehnmal mehr Informationen in derselben Bandbreite übertragen können, da 10 Bits anstatt eines PPM - Pulses pro Kanal übermittelt werden, schauen wir uns die höchste Modulationsfrequenz bei PPM an. Diese 0,3 ms ins Low-Phase entspricht einem Halbsinus einer Frequenz von $0.5/0.3$ ms = 1.66 kHz. Wie wir sehen werden, ist das der gleiche Wert wie beim PCM. Sonst könnte man nicht den gleichen 10 kHz-Kanalabstand verwenden und auch nicht den gleichen Hf-Teil eines RC - Empfängers.

PCM - Pulse Code Modulation.

Mitte der 80er Jahre, dank der aufkommenden günstigen Mikroprozessortechnik, war es endlich möglich, den störempfindlichen Abschnitt der Übertragungskette vom PPM

Vorteile

Unsere Servos verwenden Drei-Draht-Verbindungen: Plus, Minus und Impuls. Auf der Impulsleitung ist exakt derselbe 1 - 2 ms Servopuls vorhanden, wie der, der im Sender generiert wurde, d.h. die gesamte Radio-Strecke ist transparent. Sie verändert die Darstellung der Information nicht. Dadurch kann der Sender und Empfänger ohne Prozessor auskommen, was früher Voraussetzung gewesen ist. Sie können sehr einfach, klein und günstig gebaut werden. Generell können Empfänger verschiedener Hersteller mit dem Sender anderer Hersteller betrieben werden. Jeder 22.5 ms Frame beinhaltet die komplette Servoposition. Die Übertragung ist schnell genug, um auch die schnellsten Servos zu bedienen. PPM kündigt durch Servozittern das Erreichen der Reichweite an. Der aufmerksame Pilot bemerkt dies, weil die Steuerbefehle nicht mehr korrekt umgesetzt werden, so dass er die sichere Rückkehr des Modells veranlasst. Sehr kurze Signalausfälle werden durch die Trägheit der Flugmodelle ausgeglichen.

Nachteile

Durch die Einfachheit ist die Übertragung nicht gegen Fehler gesichert, d.h., der Empfänger erkennt nicht, ob er richtige Servopulse ausgibt oder nicht. Nach jedem Startpuls zählt er die Pulse durch und gibt z.B. den siebten Servopuls an den siebten Ausgang. Kommt eine kurze Störung (0.5 ms), die den ersten Servopuls in zwei teilt, entstehen zwei zu kurze, fehlerhafte Pulse, die an den Ausgang 1 und 2 gelangen. Der zweite Servopuls ist zwar nicht gestört, aber er gelangt an den falschen Ausgang 3 usw. Ist die Störung sehr lang (>30 ms), wird sie möglicherweise als Startpuls gewertet und die Pulszählung in dem Empfänger fängt bei einem beliebigen Kanal an. Erst der nächste Frame wird richtig übertragen. Gelangt man an die Grenze der Reichweite, werden die Pulse durch das Rauschen leicht verkürzt oder verlängert. Die Servos fangen an zu zittern. Auch bei einer selten auftretenden ungünstigen Lage der

Empfangsantenne, bei der die Projektion der Antenne in Richtung Sender fast zu einem Punkt schrumpft, bricht das Signal zusammen und die Servos bekommen für eine kurze Zeit falsche Pulse. Diese sehr kurze Störung wird meistens gar nicht bemerkt, da die Servos den falschen Puls aufgrund ihrer Trägheit glätten (egalalisieren).

Piloten bis zum Servo im Modell durch spezielle Kodierung gegen Fehler zu sichern. Natürlich müssen dann gleichermaßen Sender und Empfänger einen Prozessor besitzen, der diese Kodierung im Sender und die Dekodierung im Empfänger erledigt. Speziell im Empfänger ist der Mikroprozessor heutzutage extrem klein, ca. 10×1 Ohm. Da schon bei PPM ein sehr einfacher binärer (zwei Zustände) FSK-Sender verwendet wurde, ist er gut geeignet, um Sequenzen von 1 und 0 zu übertragen. Die digitale Nachrichtenübertragung ist natürlich in der Lage, nicht nur die Servopulse aufzunehmen, sondern jegliche Art von Nachrichten, wie zusätzliche Prüfsummen, Fail-Safe-Werte oder sogar die Kennung des zu fliegenden Modells zu senden. Man wollte natürlich nicht dem PPM in der Stellgenauigkeit und der Wiederholrate nachstehen. Daraus ergaben sich zuerst Bandbreiten-Probleme, d.h. zu viele Bits mussten in der kurzen Rahmenzeit (engl. Frame) von 20 - 25 ms übertragen werden.

PCM - viele Bits

Die Positionen der Steller, Schalter und Schieber, die zuerst als analoge Spannung eines Potentiometers oder Schalters vorliegen, werden mit einem Analog-Digital-Wandler digitalisiert, d.h. sie liegen als eine 8 bis 10 Bits (256 bis 1024 Stufen) Zahl vor. Für acht bis zehn Servos ergeben sich damit schon 80 - 100 Bits. Addiert man noch die Prüfsumme von 16 - 32 Bits pro Frame, Synchronsequenzen und Fail-Safe-Werte hinzu, bekommt man schon eine Bitzahl von 100 - 160 für eine komplette Nachrichtenübertragung (Frame). Eine Bitlänge bei Graupner und Robbe ist 0.3 ms, 100 - 160 Bits benötigen damit 30 - 48 ms Rahmenzeit, wesentlich länger als die 22.5 ms bei PPM. Wählt man noch sichere Bitlängen und zwölf Kanäle, vergrößert sich die Zeit auf 55 ms, wie bei Simprop (System 90), wobei nur sechs Kanäle proportional sind und sechs als Schaltkanäle dienen. Jeder erkennt sofort das eine Verkürzung der Rahmenzeit ohne Datenkompression, ohne Verringerung der Stellgenauigkeit oder Kanalzahl, nicht möglich ist. An dieser Stelle muss gesagt werden, dass Verfahren wie WinZIP, Iha oder arj die in der Computertechnik große Dateien komprimieren, hier nicht benutzt werden können. Diese Verfahren sehen die ganze Datei auf einmal und können eine lange (bis 1024 Einträge) Worttabelle für diese Datei bilden. Somit kann z.B. ein 10 Byte langes, oft vorkommendes Wort, durch nur 1 Byte ersetzt werden. Bei PCM, wie auch bei jeder anderen Echtzeitübertragung, weiß der Komprimierungsalgorithmus nicht was beispielsweise in den nächsten drei Minuten für Servostellungen wie oft wiederkehren werden, um sie durch kürzere Bitsequenzen zu ersetzen.

PCM - Übertragung

Um die Übertragung zu synchronisieren, werden beim heutigen PCM zwei Verfahren verwendet: ein langer Startpuls, bestehend aus so vielen Bits "0" oder "1", dass sie niemals mit Daten verwechselt werden können, oder der sogenannte Halbbitpuls, z.B. 2.5 Bits, der auch nie zu den Daten gehören kann. Danach folgt meistens eine Synchronisationssequenz, um die Empfangs-Clock zu stellen. Das ist die Uhr, die Bitsmitten bei Empfang abtastet. Somit wird sichtbar, dass an der Reichweitengrenze, wo bei PPM wegen des überlagerten Rauschens schon die Servos stark zittern, weil die Pulsflanken variieren (bis +/-30 (s), bei PCM alles ruhig bleibt, da eine Reserve von einem Halbbit, also 150 (s), vorliegt. Dann kommen die Servodaten, meistens in einigen Blöcken, deren Inhalt variabel sein kann.

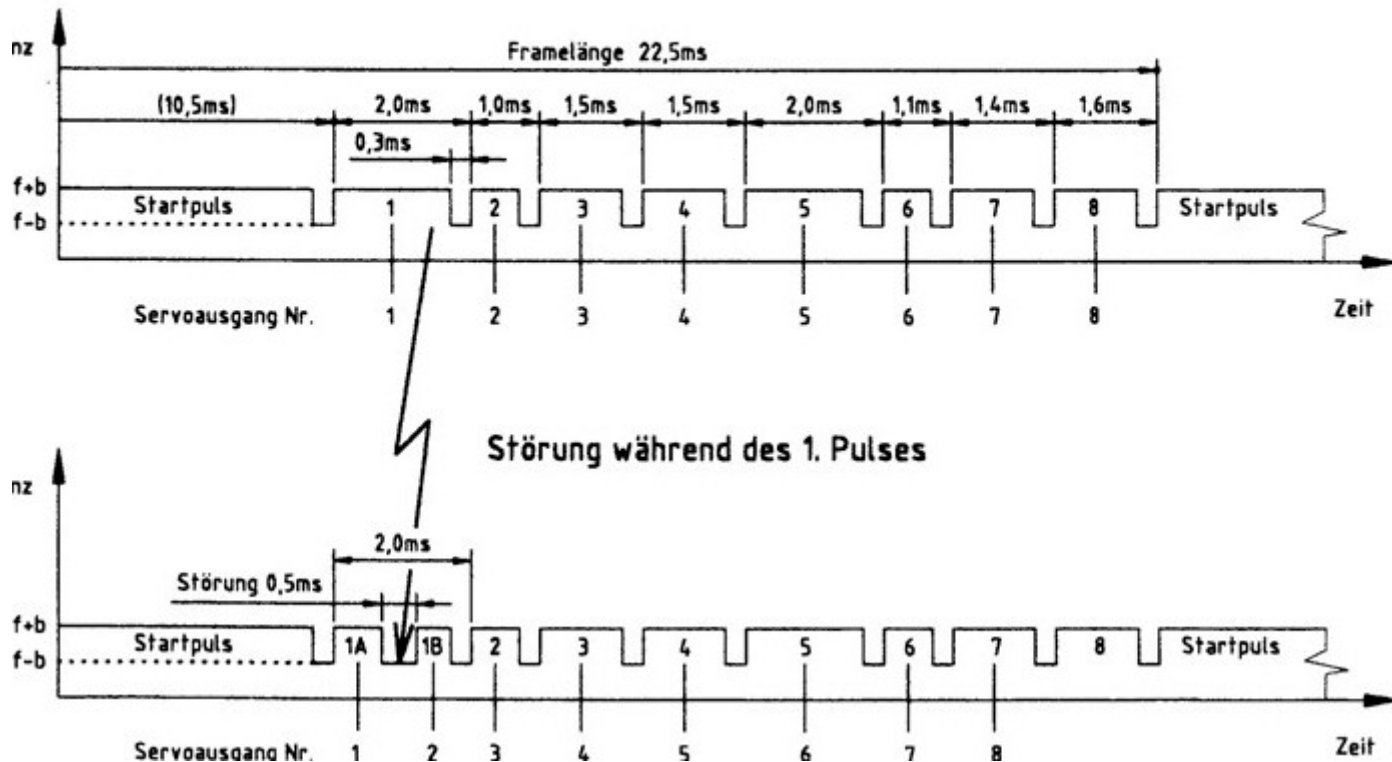
Anschließend kommen die organisatorischen Daten, wie Kanalnummern oder Fail-Safe-Modus und FS-Werte. Ganz am Ende kommt die Prüfsumme in Form einer 16 Bit langen CRC (Cyclic Redundancy Check). Es ist der Rest aus der Division der ganzen Nachricht durch ein Polynom 16. Ordnung. Diese Methode ist so sicher, dass Hunderte von Jahren vergehen können, bis ein Fehler vorkommt. Gleichzeitig ist die Berechnung einfach in dem Empfängerprozessor zu realisieren. Diese Methode kann Bit-Fehler erkennen, aber keinen einzigen Fehler korrigieren. Das bedeutet hat sich unter den ca. 100 - 160 Bits des gesamten Frames ein einziger Fehler eingeschlichen, fällt die Prüfsumme durch und die gesamte Nachricht wird verworfen. Die Servos kriegen die letzte richtig empfangene Position, bis wiederkorrekte Daten kommen. Kommen sie aber nicht innerhalb der eingestellten Zeit (0.25 - Isec. tritt das Fail-Safe ein. Je nach Einstellung eine vorgewählte und im Sender definierte Servoposition oder die letzte richtig empfangene, Position. Dass schon ein Übertragungsfehler von einem Prozent zum Ausfall der gesamten Übertragungsstrecke führt, ist ein gravierender Nachteil, der mit aufwendigeren und redundanten Kodierungen zu beheben wäre. Eine Audio-CD ist ein gutes Beispiel dafür. Sie kann sogar einen Kratzer der Breite von insgesamt 17 Bit-Fehlern klaglos überstehen braucht dafür aber 30% mehr Datenbits. In unsere RC-Steuerung ist die Redundanz in der hohen Wiederholrate vorhanden. Die Servos können nicht mehr als 10 - 15 unterschiedliche Positionen in der Sekunde verarbeiten. Sie bekommen aber 45 - 60 Pulse/Sek. Wird eine Servoposition wegen ein Übertragungsfehlers wiederholt, ist das unkritisch. Um jedoch die Dauer des Ausfalls zu verkleinern, hat Graupner in dem SPCM20 (mc 24) und Robbe in dem PCM 1024 (FC 16/18/28) Unterblöcke innerhalb eines Frames durch getrennte, CRC gesichert. Somit wird nicht der ganze Frame verworfen, so dem nur ein Teil. Aber sehen wir, wie die einzelnen Hersteller das PCM realisiert haben.

PCM -unterschiedliche Systeme

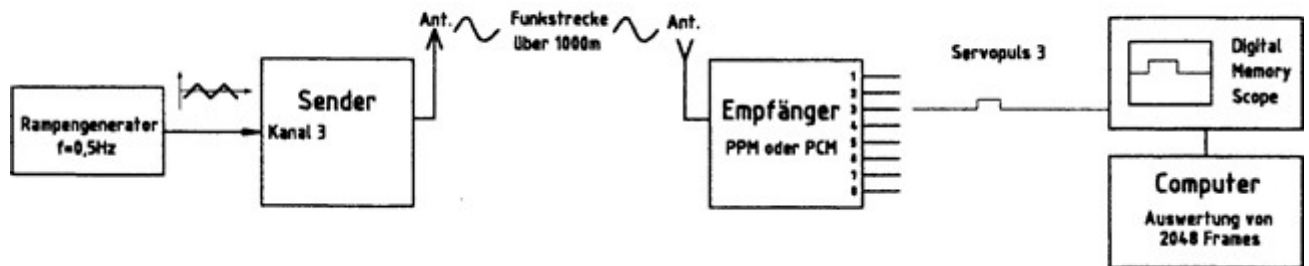
Nachteile

Durch die Einfachheit ist die Übertragung nicht gegen Fehler gesichert, d.h., der Empfänger erkennt nicht, ob er richtige Servopulse ausgibt oder nicht. Nach jedem Startpuls zählt er die Pulse durch und gibt z.B. den siebten Servopuls an den siebten Ausgang. Kommt eine kurze Störung (0.5 ms), die den ersten Servopuls in zwei teilt entstehen zwei zu kurze, fehlerhafte Pulse, die an den Ausgang 1 und 2 gelangen. Der zweite Servopuls ist zwar nicht gestört, aber er gelangt an den falschen Ausgang 3 usw. Ist die Störung sehr lang (>30 ins), wird sie möglicherweise als Startpuls gewertet und die Pulszählung in dem Empfänger fängt bei einem beliebigen Kanal an. Erst der nächste Frame wird richtig übertragen. Gelangt man an die Grenze der Reichweite, werden die Pulse durch das Rauschen leicht verkürzt oder verlängert Die Servos fangen an zu zittern. Auch bei einer selten auftretenden ungünstigen Lage der Empfangsantenne, bei der die Projektion der Antenne in Richtung Sender fast zu einem Punkt schrumpft, bricht das Signal zusammen und die Servos bekommen für eine kurze Zeit falsche Pulse. Diese sehr kurze Störung wird meistens gar nicht bemerkt, da die Servos den falschen Puls aufgrund ihrer Trägheit glätten (egalalisieren).

PPM Frame ohne/mit Störung



PPM/PCM Rauschtest



Piloten bis zum Servo im Modell durch spezielle Kodierung gegen Fehler zu sichern. Natürlich müssen dann gleichermaßen Sender und Empfänger einen Prozessor besitzen, der diese Kodierung im Sender und die Dekodierung im Empfänger erledigt. Speziell im Empfänger ist der Mikroprozessor heutzutage extrem klein, ca. 10×1 Ohm. Da schon bei PPM ein sehr einfacher binärer (zwei Zustände) FSK-Sender verwendet wurde, ist er gut geeignet, um Sequenzen von 1 und 0 zu übertragen. Die digitale Nachrichtenübertragung ist natürlich in der Lage, nicht nur die Servopulse aufzunehmen, sondern jegliche Art von Nachrichten, wie zusätzliche Prüfsummen, Fail-Safe-Werte oder sogar die Kennung des zu fliegenden Modells zu senden. Man wollte natürlich nicht dem PPM in der Stellgenauigkeit und der Wiederholrate nachstehen. Daraus ergaben sich zuerst Bandbreiten-Probleme, d.h. zu viele Bits mussten in der kurzen Rahmenzeit (engl. Frame) von 20 - 25 ms übertragen werden.

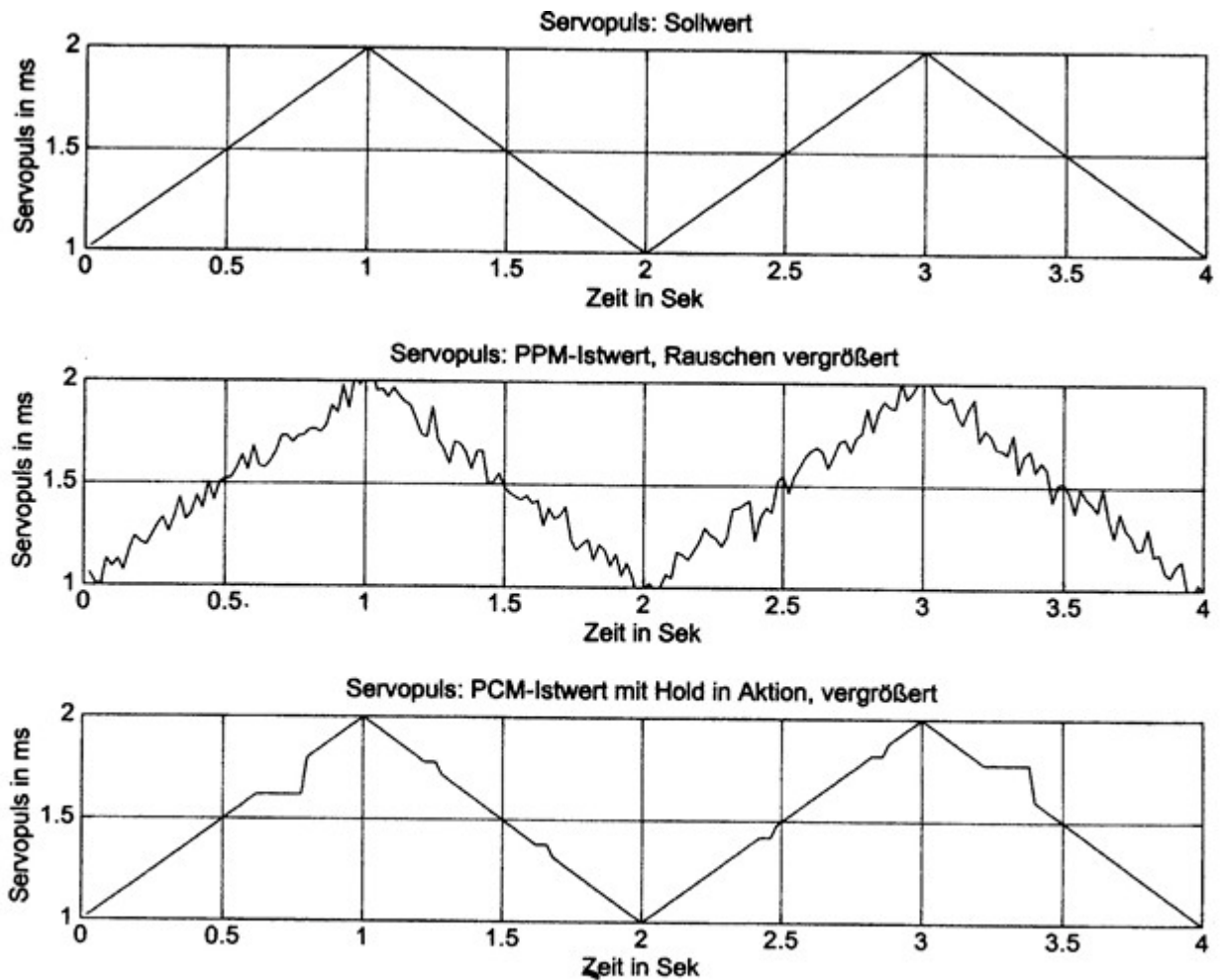
PCM - viele Bits

Die Positionen der Steller, Schalter und Schieber, die zuerst als analoge Spannung eines Potentiometers oder Schalters vorliegen, werden mit einem Analog-Digital-Wandler digitalisiert, d.h. sie liegen als eine 8 bis 10 Bits (256 bis 1024 Stufen) Zahl vor. Für acht bis zehn Servos ergeben sich damit schon 80 - 100 Bits. Addiert man noch die Prüfsumme von 16 - 32 Bits pro Frame, Synchronsequenzen und Fail-Safe-Werte hinzu, bekommt man schon eine Bitzahl von 100 - 160 für eine komplette Nachrichtenübertragung (Frame). Eine Bitlänge bei Graupner und Robbe ist 0.3 ms, 100 - 160 Bits benötigen damit 30 - 48 ms Rahmenzeit, wesentlich länger als die 22.5 ms bei PPM. Wählt man noch sichere Bitlängen und zwölf Kanäle, vergrößert sich die Zeit auf 55 ms, wie bei Simprop (System 90), wobei nur sechs Kanäle proportional sind und sechs als Schaltkanäle dienen. Jeder erkennt sofort das eine Verkürzung der Rahmenzeit ohne Datenkompression, ohne Verringerung der Stellgenauigkeit oder Kanalzahl, nicht möglich ist. An dieser Stelle muss gesagt werden, dass Verfahren wie WinZIP, Iha oder arj die in der Computertechnik große Dateien komprimieren, hier nicht benutzt werden können. Diese Verfahren sehen die ganze Datei auf einmal und können eine lange (bis 1024 Einträge) Worttabelle für diese Datei bilden. Somit kann z.B. ein 10 Byte langes, oft vorkommendes Wort, durch nur 1 Byte ersetzt werden. Bei PCM, wie auch bei jeder anderen Echtzeitübertragung, weiß der Komprimierungsalgorithmus nicht was beispielsweise in den nächsten drei Minuten für Servostellungen wie oft wiederkehren werden, um sie durch kürzere Bitsequenzen zu ersetzen.

PCM - Übertragung

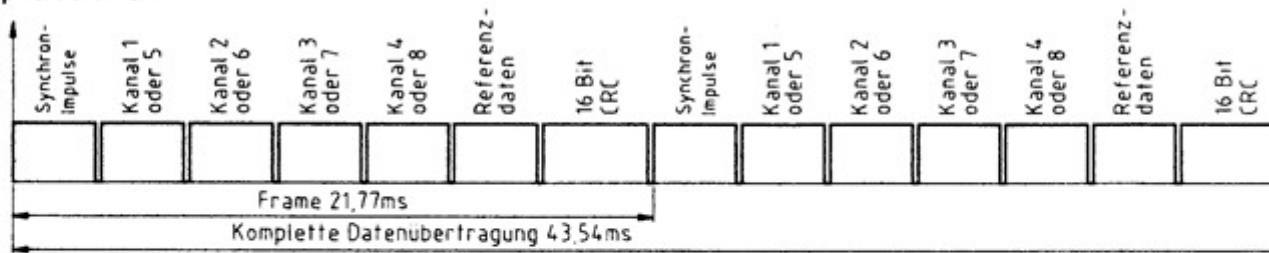
Um die Übertragung zu synchronisieren, werden beim heutigen PCM zwei Verfahren verwendet: ein langer Startpuls, bestehend aus so vielen Bits "0" oder "1", dass sie niemals mit Daten verwechselt werden können, oder der sogenannte Halbbitpuls, z.B. 2.5 Bits, der auch nie zu den Daten gehören kann. Danach folgt meistens eine Synchronisationssequenz, um die Empfangs-Clock zu stellen. Das ist die Uhr, die Bitsmitten bei Empfang abtastet. Somit wird sichtbar, dass an der Reichweitengrenze, wo bei PPM wegen des überlagerten Rauschens schon die Servos stark zittern, weil die Pulsflanken variieren (bis +/-30 (s), bei PCM alles ruhig bleibt, da eine Reserve von einem Halbbit, also 150 (s), vorliegt. Dann kommen die Servodaten, meistens in einigen Blöcken, deren Inhalt variabel sein kann. Anschließend kommen die organisatorischen Daten, wie Kanalnummern oder Fail-Safe-Modus und FS-Werte. Ganz am Ende kommt die Prüfsumme in Form einer 16 Bit langen CRC (Cyclic Redundancy Check). Es ist der Rest aus der Division der ganzen Nachricht durch ein Polynom 16. Ordnung. Diese Methode ist so sicher, dass Hunderte von Jahren vergehen können, bis ein Fehler vorkommt. Gleichzeitig ist die Berechnung einfach in dem Empfängerprozessor zu realisieren. Diese Methode kann Bit-Fehler erkennen, aber keinen einzigen Fehler korrigieren. Das bedeutet hat sich unter den ca. 100 - 160 Bits des gesamten Frames ein einziger Fehler eingeschlichen, fällt die Prüfsumme durch und die gesamte Nachricht wird verworfen. Die Servos kriegen die letzte richtig empfangene Position, bis wiederkorrekte Daten kommen. Kommen sie aber nicht innerhalb der eingestellten Zeit (0.25 - Isec. tritt das Fail-Safe ein. Je nach Einstellung eine vorgewählte und im Sender definierte Servoposition oder die letzte richtig empfangene Position. Dass schon ein Übertragungsfehler von einem Prozent zum Ausfall der gesamten Übertragungsstrecke führt, ist ein gravierender Nachteil, der mit aufwendigeren und redundanten Kodierungen zu beheben wäre. Eine Audio-CD ist ein gutes Beispiel dafür. Sie kann sogar einen Kratzer der Breite von insgesamt 17 Bit-Fehlern klaglos überstehen braucht dafür aber 30% mehr Datenbits. In unsere RC-Steuerung ist die Redundanz in der hohen Wiederholrate vorhanden. Die Servos können nicht mehr als 10 - 15 unterschiedliche Positionen in der Sekunde verarbeiten. Sie bekommen aber 45 - 60 Pulse/Sek. Wird eine Servoposition wegen ein Übertragungsfehlers wiederholt, ist das unkritisch. Um jedoch die Dauer des Ausfalls zu verkleinern, hat Graupner in dem SPCM20

(mc 24) und Robbe in dem PCM 1024 (FC 16/18/28) Unterblöcke innerhalb eines Frames durch getrennte, CRC gesichert. Somit wird nicht der ganze Frame verworfen, so dem nur ein Teil. Aber sehen wir, wie die einzelnen Hersteller das PCM realisiert haben.

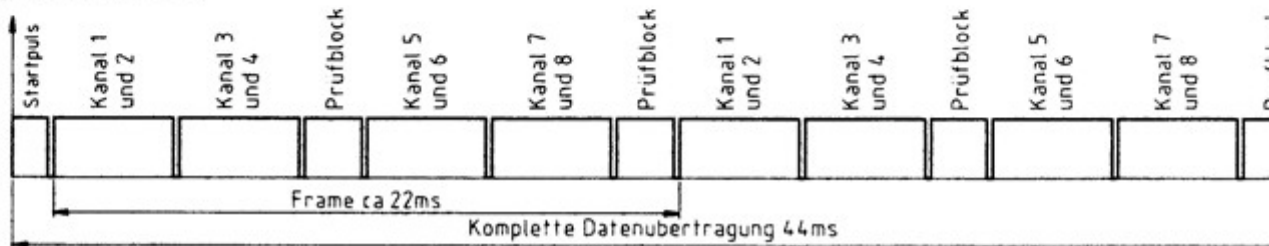


Unterschiedliche PCM Systeme

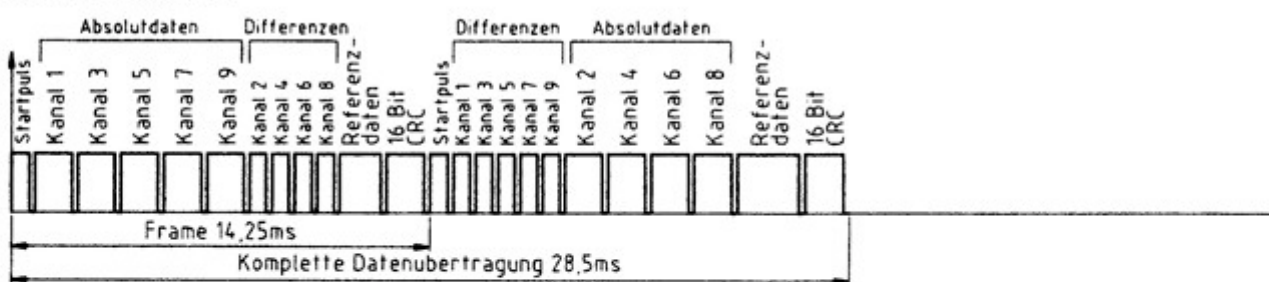
Graupner/JR PCM



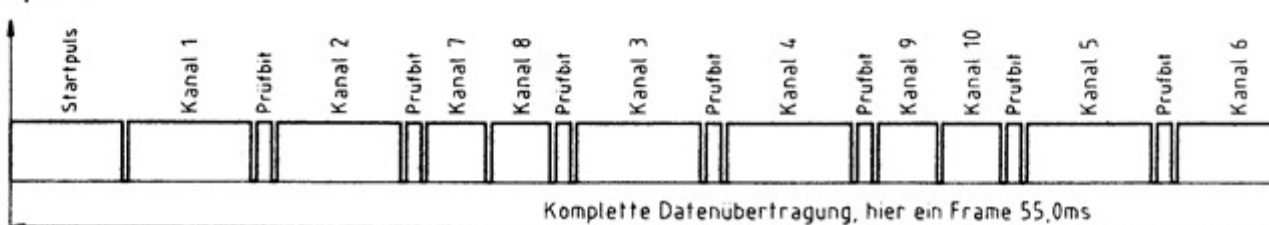
Graupner/JR SPCM20



Robbe/Futaba PCM 1024



Simprop PCM



0.5 Hz Rampengenerator, anstatt eines Knüppels, eingebaut und die Servopulslängen digital für PPM und PCM registriert. Anschließend wurden die Pulslängen gegenüber dem Sollwert graphisch dargestellt und die Abweichungen bestimmt. Der Sollwert veränderte sich innerhalb von zwei Sekunden langsam von 1 ms auf 2 ms und zurück. Bei dem eingestellten, extrem schwachen Empfangssignal variierten die PPM-Pulse um den Sollwert im Schnitt um 9 (s (Standardabweichung). Die PCM-Pulse blieben immer auf dem Sollwert. Somit ist die Behauptung widerlegt, dass PPM eine größere Reichweite als PCM hätte.

PCM Fazit

Da die PCM-Modulation meistens mit exzellenten Doppelsuperhet Empfänger gepaart wird, erreicht sie ein Höchstmaß an Übertragungssicherheit. Was ich jedoch dem System ankreide, ist die fehlende Anzeige der Übertragungsstreckenqualität, z.B. bei einem "50m-ingeschobene-AntenneTest (z.B. blinkende LED für jeden gestörten Frame). Mit dieser Anzeige wäre es möglich, die Sicherheit schon vor dem Start und auch nach einem Flug zu überprüfen. Es wäre sehr einfach, dank des vorhandenen Prozessors, eine Kanalfrequenzwahl, mittels PLL, zu realisieren. Eine "Black Box" in Form vom nichtflüchtigen Speicher (8 Pin EEROM) könnte die Anzahl der Störungen und deren Länge sowie Signalstärke kontinuierlich speichern. Auf einem PC oder auch dem schonvorhandenen Senderdisplay könnte man sie entweder auf dem Flugfeld oder zu Hause auslesen. Auch die mitgespeicherte Kanalbelegung des eigenen Kanals, wie des Nachbarkanals könnte durchaus weiterhelfen.

PPM Ausblick

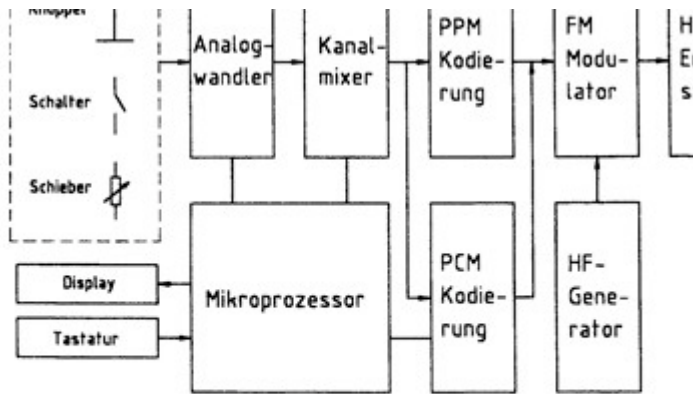
Auch auf dem PPM-Sektor kann man Verbesserungen erwarten, wie das IPD von Multiplex, SCAN PLL von ACT, oder SCAN2000 von Simprop beweisen. Mit Hilfe eines Prozessors im Empfänger ist eine Überprüfung der Länge und Anzahl der RC-Pulse ohne weiteres möglich. Fail-Safe und Hold, bisher exklusive Vorteile von PCK können realisiert werden. Die Stengenauigkeit des PCM,

Vorteile

Extreme Stengenauigkeit und kein Servozittern, auch bei sehr großer Entfernung. Halten der Servoposition bei kurzzeitigen Störungen (Hold). Stellen der Servos in eine vorgewählte Position bei länger andauernder Störung oder Ausfall des Senders (Fail-Safe). Schnelle Übertragung bei SPCM20 und PCM 1024, ähnlich wie bei PPM. Keine Servos werden durch zu lange oder zu kurze RC-Pulse zerstört, was gelegentlich bei PPM passieren kann.

PCM- Nachteile

PCM-Empfänger sind teurer als PPM. Da sie meistens mit einem sehr guten Doppelsuper kombiniert sind, sind sie gleich groß und schwer wie die PPM-Doppelsuper der gehobenen Klasse. Oft haben sie eine schlechtere Nachbarkanalunterdrückung als entsprechende PPM-Empfänger gleicher Klasse. Vorsicht ist beim Überfliegen von Sendern mit Nachbarkanal angebracht. Wegen der unterschiedlichen Protokolle können sie nur vom Sender des gleichen Herstellers betrieben werden. Innovative, flexible Firmen, die z.B. automatische Kanalwahl anbieten (SCAN-PLL), dürfen nicht das Protokoll anwenden. Somit läuft PCM immer ein bisschen hinter der Entwicklung her. Die Überprüfung der Übertragungsqualität ist sehr schwer, da der Hold-Modus kleine Störungen ausblendet. Deshalb kann es manchmal zu Unfällen kommen, da keine Vorwarnzeit bemerkbar ist. Gefährlich sind Störungen, die sich langsam aufbauen, z.B. technischer Art, die erst durch einen Totalausfall der Übertragung bemerkbar werden, dann aber meistens mit einem Absturz. speziell an der Reichweitengrenze, lässt sich in PPM allerdings nicht realisieren. Ist die Störung gering, kann auch der Prozessor einen falschen Puls nicht von einem richtigen unterscheiden. So ganz kann es halt PCM nicht ersetzen.



PCM - Was bringt es im Hubschrauber?

Nicht weniger, dafür aber schönere Abstürze, könnte man etwas lapidar antworten. Doch so einfach sollte man es sich nicht machen, überlegt eingesetzt, kann PCM tatsächlich einen Sicherheitsgewinn bedeuten. Als Nachteil muss man beim PCM-Betrieb ganz klar sehen, dass das "Ausblenden" möglicher Störungen jeglicher Coleur natürlich auch das frühzeitige Erkennen dieser Störungen unmöglich macht. Also sollte man zumindest die Reaktion des Empfängers auf fehlende oder falsche Signale als Sicherheitsgewinn nutzen.

Der absolute Supergau ist doch die Möglichkeit, dass der Heli im stabilen Vorwärtsflug nicht mehr auf Steuerimpulse reagiert und somit ungesteuert mit voller Drehzahl, vielleicht ca. 1.800 bis 1.900 U/min, in Richtung Autobahn oder auf eine Menschengruppe zufliegt. In diesem Falle, der gar nicht soweit hergeholt ist, ist das Wohl des Helis absolut zweitrangig, hier ist nur wichtig, dass er so schnell wie möglich runterkommt, und dies mit möglichst wenig Drehzahl am Rotor, weil gerade diese die eigentliche Gefahr für Menschen bedeutet. Die recht einfache Lösung für diese Failsafe - Situation: Gasservo auf Leerlauf programmieren, Pitchservo vielleicht auf 1 bis 20 und schon ist die Wucht und Unberechenbarkeit des unkontrollierbaren Hubschraubers auf ein erträgliches und überschaubares Maß begrenzt. Wer schon mal miterleben musste, mit welcher ungeheuerlichen Wucht ein voll drehender Rotor in einen Menschen einschlägt, kann ermessen, welche Schadensbegrenzung im weitesten Sinne allein schon die Leerlaufstellung des Motors bedeuten kann. Dass damit natürlich auch der Heli generell zum Absturz verdammt ist, sollte absolut zweitrangig sein, er ist nur ein Haufen Blech, der Mensch muss immer wichtiger sein. Mit dieser einfachen Vorgabe können die vorhandenen Möglichkeiten der PCM-Modulation optimal in zusätzliche Schadensbegrenzung umgesetzt werden

PPM/PCM Doppelsuperhet Empfänger

