KRIEG IM AETHER

Vorlesungen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
im Wintersemester 1970/1971
Leitung: Abteilung für Übermittlungstruppen, Oberstdivisionär E. Honegger

Das Übermittlungssystem für den Apollo - Mondflug

Referent: Dr. Sc. Techn. C. Villars

Diese Vorlesung wurde durch die Stiftung HAMFU digitalisiert und als
PDF Dokument für www.hamfu.ch aufbereitet.

Das Uebermittlungssystem für den Apollo- Mondflug

Dr. sc. techn. C. Villars

1. Einführung

Der Apollo Mondflug und das Landen des Menschen auf dem Mond wird als eines der bedeutendsten Ereignisse des 20. Jahrhunderts in die Geschichte eingehen.

Diese Leistung summiert die fortgeschrittesten Technologien in vielen Gebieten, besonders aber auch in der Nachrichten-, Informations- und Computertechnik.

Das Gebiet der "Informations-Systeme" nimmt heute immer mehr an Bedeutung zu, sei es für militärische, wirtschaftliche, administrative oder medizinische Zwecke. Deshalb besteht für uns das Interesse an Hand des Apollo Beispieles einen konkreten Fall von einem ausgedehnten, sehr sicheren Uebermittlungs- und Datenverarbeitungssystem zu studieren. Es entspricht der heutigen Tendenz, Computer-Netze aufzubauen anstatt lokal begrenzte Computeranlagen. Bei Netz-Systemen werden ein oder mehrere Computer über Datenleitungen untereinander und mit zahlreichen entfernten Peripherie-Geräten (Datenerfassung, Printer, Video-Terminale, Schaltergeräte, usw) verbunden.

Mehrere Programme laufen gleichzeitig in Echt-Zeit; es entspricht den Konzepten von Real-Time, Multiprogramming, Multi- und Remote-Processing. Solche ausgedehnte Systeme sind heute auch in der Schweiz im Studium, z.B. für das Bankwesen oder für die PTT-Verwaltung.

Beim Apollo-Projekt finden wir manche Aspekte die direkt für schweizerische Projekte interessant sind. Es seien speziell erwähnt:

- das Vermitteln von Meldungen (cf die PTT-Projekte ATECO, TERCO, das Projekt COMET für die Schweizerische Radio-Gesellschaft, siehe die Sonder Nr der PTT-Mitteilungen)
- die Daten-Uebertragung mit Fehlererkennungssystemen
- die Netzüberwachung mittels Computer.

Die Datenübertragung ist erst am Anfang einer grossartigen Entwicklung. Dank der Digitaltechnik und den Anforderungen der Datenübertragung findet eine Symbiose zwischen der Telephonie- und der Computertechnik statt, wie das die Fig. 1 auf Seite 4-2 erkennen lässt.

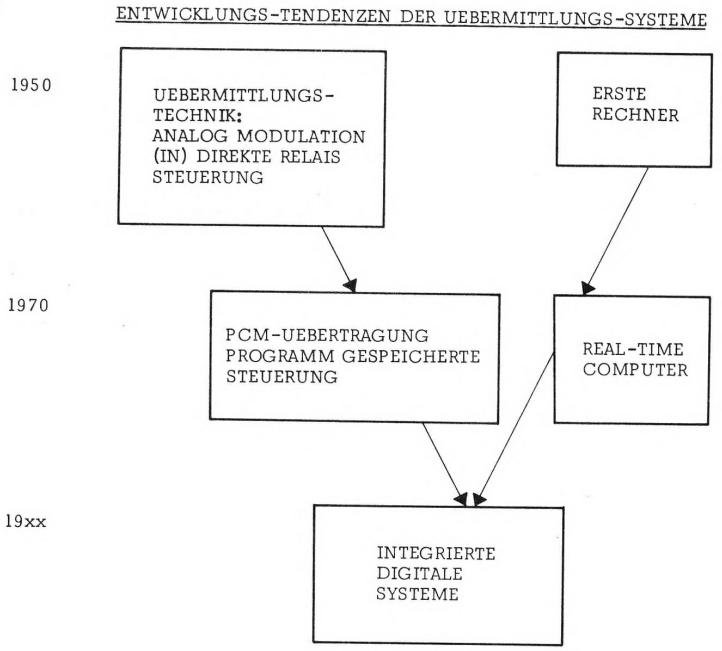


Fig. 1

2. Problemstellung und Systemkonfiguration

Das Problem hat drei Dimensionen:

- der Verkehr und die Informationskapazitäten der verschiedenen Quellen und Kanäle, in kBit/s.
- die räumliche Verteilung der Zentren und der Beobachtungs-Stationen
- das Verarbeitungsprogramm der Daten.

Daraus sollen sich die Computer-Konfiguration und die Computer-Eigenschaften ergeben. Es werden zwei Arten von Verbindungskanälen verwendet:

- zwischen den Beobachtungsstationen und der Raumkapsel
- zwischen den Beobachtungsstationen und den zwei Kontrollzentren:

  a) das Goddard Space Flight Center in Greenbelt Maryland. Es übernimmt die allgemeine Kontrolle des ganzen Netzes,

  b) das Manned Spacecraft Center oder Mission Control Center in Houston Texas. Es ist für die allgemeine Flugkontrolle verantwortlich.

Die Aufgaben der Computer sind vielfältig. Sie müssen die ankommenden Daten kontrollieren (Validations-Teste), eventuell reduzieren oder umformen, verarbeiten und weiterleiten. Als rauhe Daten von der Kapsel sind es entweder Telemetrie-Daten (in Blöcken) oder Befehle für die Fernsteuerung. In der Richtung vom Kontrollzentrum zur Kapsel im Erdorbit benötigt ein Befehl ca 0,3 Sekunden, in der anderen Richtung benötigt die Quittung ca 2 Sekunden um zum Kontrollzentrum zurückzugelangen. Die Blockstruktur (Bit-Packet) ist charakteristisch für alle Arten von Austauschen, je nach Funktion des Datenblockes variiert die interne Bedeutung der Bits und Wörter.

Die Struktur des Systemes ist die folgende:

Stufe 1 Raumkapsel

(51.2, 7.2 und 1.6 kbit/s)

Stufe 2 Boden- & Schiffsstationen

14 Stationen, 48 Computer auf der ganzen Welt verteilt,
Computer Typus U1218 und U1230 (1 Aktiv, 1 Background)

(Fernschreiber und Telephonleitungen, 2.4 kb/s,
mindestens doppelt geführt)

Stufe 3 Switching Center

4, in Canberra Australien, Guam, Hawai und Madrid,
Computer U418, dreifaches System, 1 Computer Activ,
1 Primäres Back-Up, 1 Sekundäres Back-Up

(2.4, 9.6 kb/s Leitungen, mindestens doppelt)

Stufe 4 Kontroll Zentren

Goddard und Houston, Computer Typ U494, Goddard ist
mit Houston über 40.8 kb/s Leitungen verbunden.

Die beiden nachfolgenden Tabellen geben Auskunft über die verwendeten Computertypen und ihre Verteilung.

Tabelle 1: Daten der im Apollo-Projekt eingesetzten Univac-Computer

Univac 1218	33	12 us Zykluszeit 18/36 Bits. 1/2 Parität 12 K Speicher, Real-Time
Univac 1230	48	1 us Zykluszeit 30 + 2 Bits 256 Register, Zugriffszeit 400 ns 32 K Speicher (2 us), Real-Time
Univac 418/II	7	2 us Zykluszeit 18 + 1 Bits 4 K bis 65 K Speicher (2 us) Real-Time, Multi-Programming
Univac 494	6	750 ns Zykluszeit 30 + 2 Bits 32 K bis 131 K Speicher Real-Time, Multi-Programming
Univac 1108	7	36 + 2 Bits 750 ns Zykluszeit 65 K bis 262 K Speicher Real-Time, Multi-Programming, Multiprocessing

Tabelle 2: Standorte der Univac-Computer

	1218	1230	418	494	1108
Boden-Stationen					
1. Carnarvon (Australien)	3	2			
2. Goldstone (Californien)	1	2			
3. Guaymas (Mexico)	3	2			
4. Corpus Christi (Mexico)	1	2			
5. Bermuda	1	2			
6. Grand Bahama	1	2			
7. Antigua (Antillen)	1	2			
8. Grand Canary	1	2			
9. Ascencion	2	2			
10. Cape Kennedy (Florida)	4	4			
Schiffs-Stationen					
11. USNS Redstone (Ind. Ocean)	1	3			
12. USNS Vanguard (Atlantisch)	1	3			
13. USNS Mercury (Pazifisch)	1	3			
14. USNS Huntsville (Pazifisch)	1	3			
Switching-Center					
15. Canberra (Australien)	1	2	2		
16. Guam		2			
17. Hawai	1	2			
18. Madrid	2	2	2		
Kontroll-Center					
19. Goddard Space Flight CTR	3	5	1	3	2
20. Manned Spacecraft CTR (Houston)	4	1	2	3	5
TOTAL	33	48	7	6	7

Den Aufbau des Verbindungsnetzes zeigen die Figuren 2 und 3 der folgenden Seiten 4-5 und 4-6.

Fig. 4 der Seite 4-7 zeigt den generellen Aufbau der Schiffsstationen.

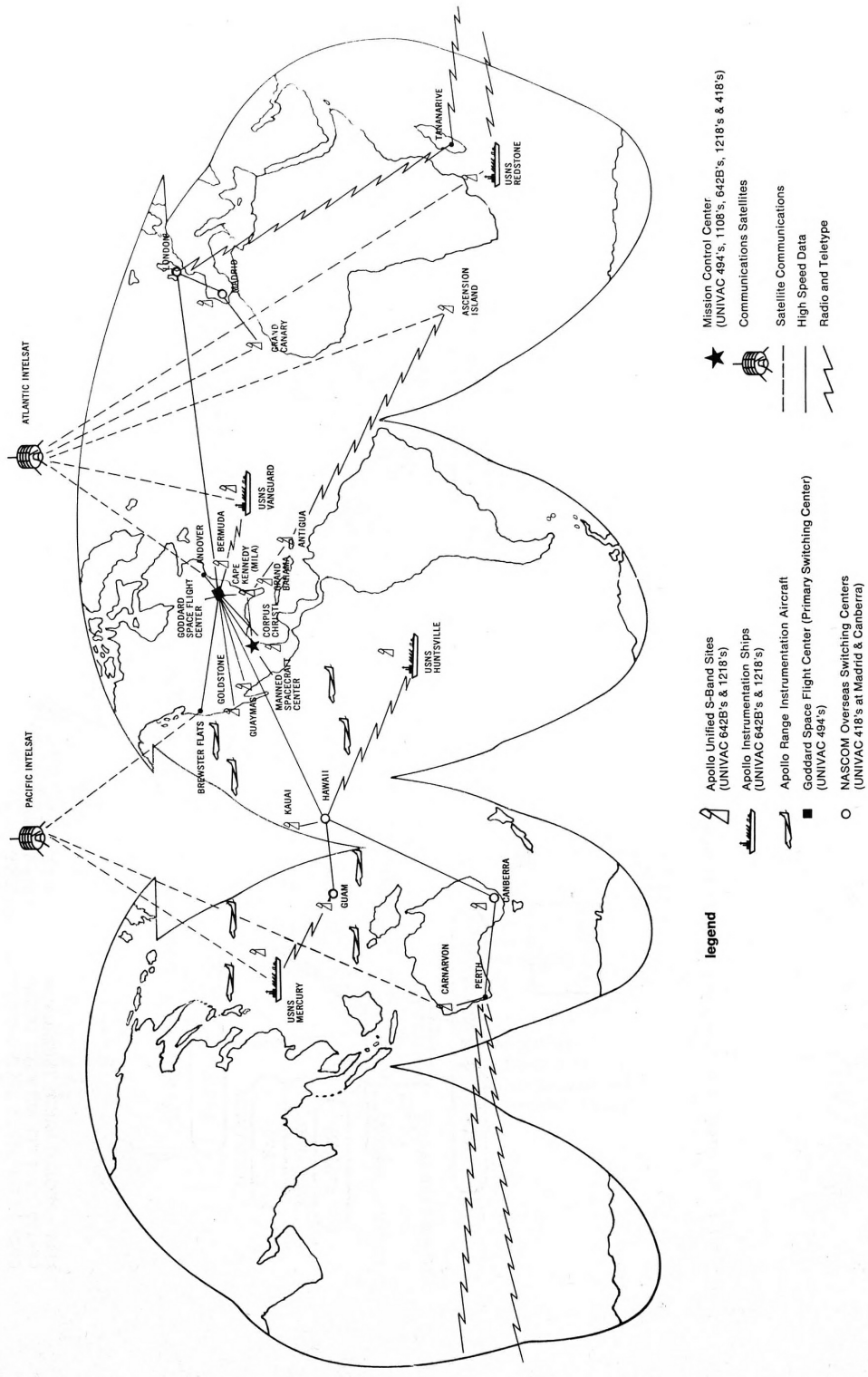


Fig. 2 Weltweites Uebermittlungsnetz der Nasa für das Apollo-Projekt.

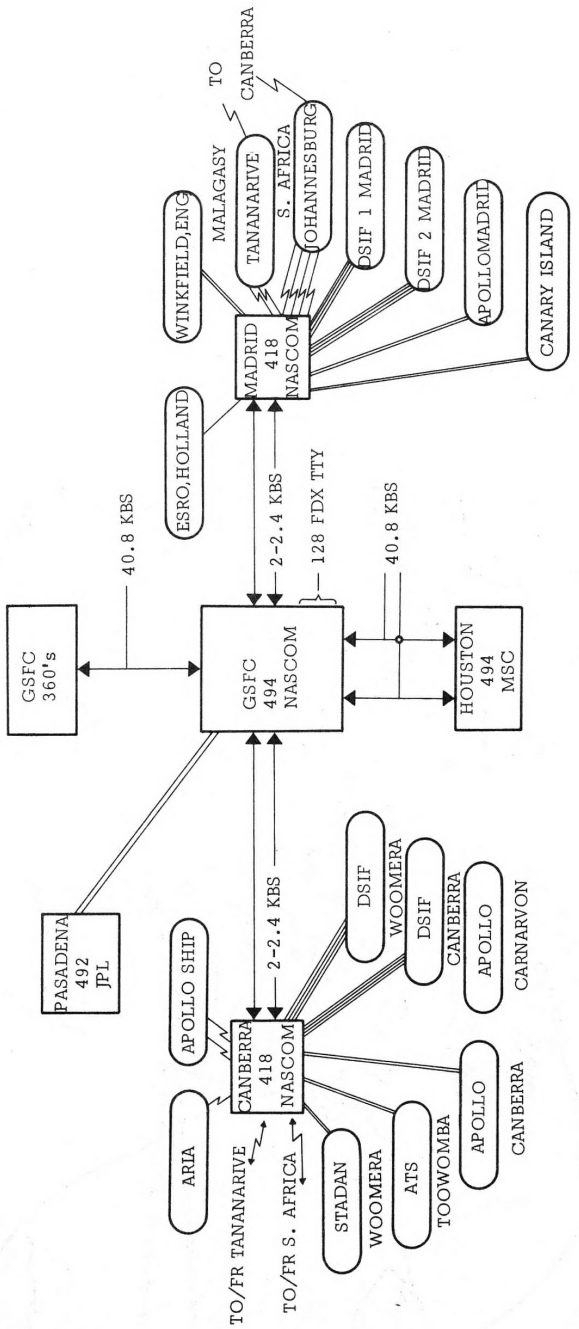
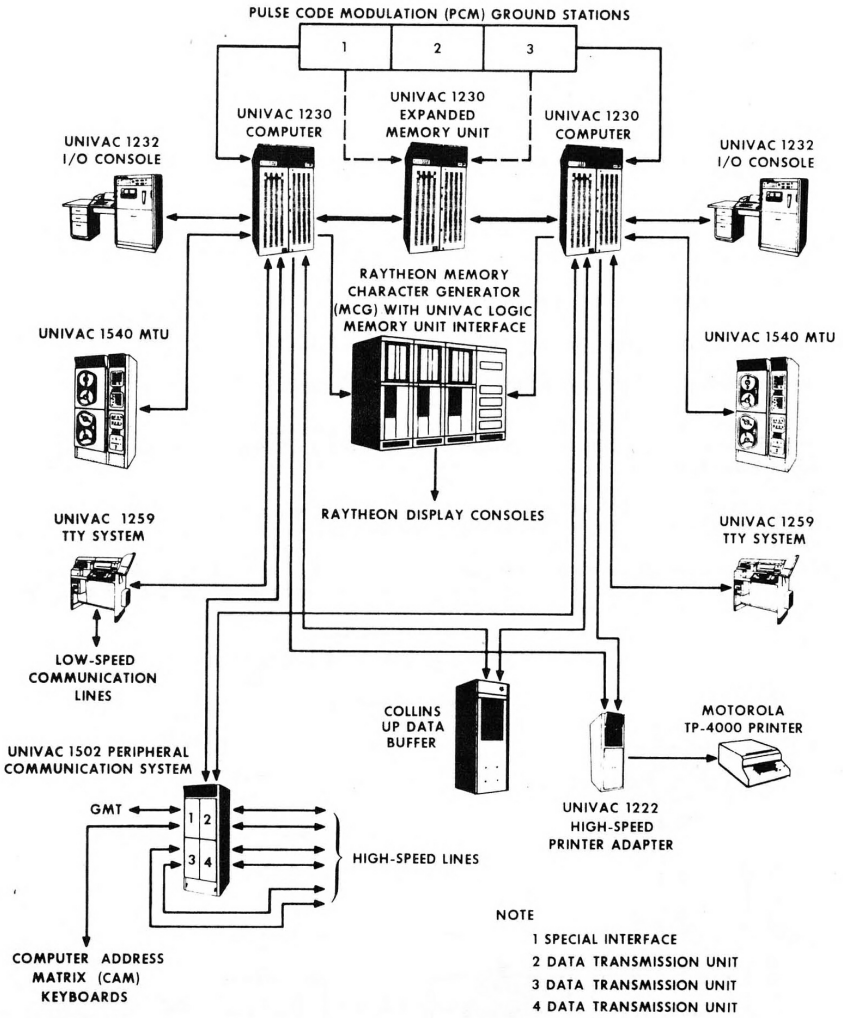


Fig. 3 Schematischer Aufbau des Uebermittlungsnetzes der Nasa.

ARIA - APOLLO RANGE INSTRUMENTED AIRCRAFT
60-100 WPM TTY BETWEEN TRACKING STATION & NASCOM
DPIF - DEEP SPACE INSTRUMENTATION FACILITY

Fig. 4 Beispiel des Aufbaues einer Schiffstation.



3. Echtzeit und Betriebssystem (Steuerprogramm)

Ganz abstrakt gesehen ist jedes System gleich aufgebaut, nämlich aus einerMenge von "Prozeduren", die untereinander gekoppelt sind. Dieses gilt sowohl für eine Uhrenfabrik, wie für eine Bank oder jede denkbare Organisation.

Darunter fallen auch die Echtzeit (Real-Time) Systeme. Der grosse Unterschied zwischen Echtzeit- und konventionnellem (Batch) Computerbetrieb ist aber, dass bei dem ersteren die Arbeitsfolge sehr stark durch stochastische äussere Phaenomina regiert wird, im Gegensatz zu den Batch-Prozessoren, wo die Arbeitsfolge nach Eingabe der Daten, ganz vom Computer bestimmt wird. Obwohl bei Echtzeit-Computer alle "Prozeduren" oder Routinen bereit liegen, werden sie je nach Bedarf angerufen. Der Computer ist ganz im Dienste einer äusseren Umgebung, dessen Verkehr nur durch statistische Parameter bestimmt ist. Massgebend für die Verkettung der "Prozeduren" und dabei für den wirtschaftlichsten Gebrauch aller Teile des Computers ist das Steuerprogramm des Computers, auch Betriebs- oder Operating- (Monitor, Executive) System genannt. Mit gleichwertigen Komponenten (Hardware) kann ein leistungsfähiges Betriebssystem eine grössere Aufgabenmenge verarbeiten.

Der Einfall der Meldungen geschieht, vom Computer her gesehen, zeitlich ganz willkürlich. Es darf aber keine Information verloren gehen. Das sich im Ablauf befindende Programm muss unterbrochen und alle seine Daten und Registern müssen aufbewahrt werden, dann erst wird auf das angemeldete Programm gesprungen. Da verschiedene Anfragen gleichzeitig erfolgen können, muss man noch vorsehen,augenblickliche Daten speichern zu können und die Anmeldung für eine Verarbeitung in eine Warteschlange aufzunehmen.

Im Kern jedes Betriebssystemes finden wir deshalb:

- das Unterbrechungs- (Interrupt) und Vorrang (Priority) System
- Datenübertragungs-Untersysteme, die weitgehend selbständig arbeiten.

Dazu verlangt man noch von der Hardware-Struktur eines Echtzeit-Computers, dass es separate Pufferung der Daten für jede Ein-/Ausgabeleitung, sowie viele Arten von Massenspeicher-Medien mit raschem Zugriff besitzt.

Alle diese Eigenschaften sind bei den U418 (das gleiche Modell wird bei der PTT für das ATECO+ Projekt und von Radio-Schweiz für das COMET-Projekt verwendet) und U494 Computer vorhanden.

Das Betriebssystem weist ebenfalls eine hierarchische Struktur auf. Als Modell dafür wird kurz das ADSS (Automatic Data Switching System) der U494 beschrieben (Fig. 5). Es ist das Programm das für die Apollo-Flüge verwendet wird.

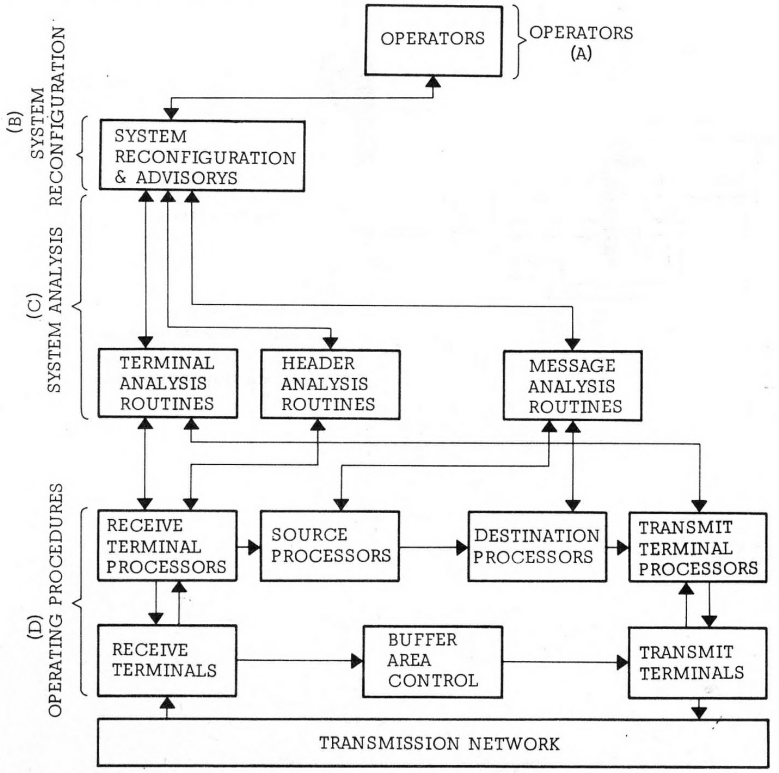


Fig. 5 Struktur des Programmes des U-494 Computers.

In der untersten D-Stufe, werden alle Ein- und Ausgabeoperationen durchgeführt, sowie die Texte für das formelle Format der Meldungen.

In der C-Stufe werden Analysen durchgeführt sobald Aenderungen im normalen Datenfluss festgestellt werden. Es können neue Zustände im Message oder in seiner Adresse (Header) sein. Es können aber auch ausserordentliche Situationen oder sogar Fehler sein, wie z.B. der Verlust der Synchronisation oder Fehler in der Ausrüstung selber.

Im B-Niveau sollen automatisch Massnahmen für eine System-Reconfiguration getroffen werden oder wenn es nötig ist, so wird das Problem dem A-Niveau übertragen. Dieses ist die höchste Stufe und erfordert die Intervention eines Operators. Diese Arbeitsweise ist also ganz in der Philosophie von "Managment by Exception". Wenn alle vorgesehenen Routinen für die Ausnahmefälle erschöpft sind, wird der Mensch mit seinem Entscheidungsvermögen einberufen.

4. Die Sicherheit des Systemes

Ein Informationssystem wie das Apollo-Netz muss eine extrem hohe Sicherheit aufweisen. Da es einfach unmöglich ist, Fehler und Unterbrüche zu eliminieren, so muss durch Redundanz die Betriebssicherheit zum gewünschten Grad erhöht werden. Dazu sollen die Auswirkungen einer Hardware- oder Softwarestörung zum voraus erfasst und Massnahmen getroffen werden, damit die Störungseffekte ein Minimum erreichen. Der Verarbeitungsprozess der Daten kann bezüglich der Sicherheit der Uebertragung in drei Hauptgebiete aufgeteilt werden:

- die Zuverlässigkeit der Daten-Uebermittlung
- die Zuverlässigkeit der Subsysteme (Hardwaremässig),
- die Zuverlässigkeit der Betriebs- und Anwendungsprogramme.

4.1. Die Zuverlässigkeit der Datenübertragung

Die Uebertragung über Fernleitungen oder über Radioverbindungen ist immer störanfällig. "Uebliche" Fehlerraten liegen zwischen 10^{-3} und 10^{-6} (Fehlerrate: Verhältnis von Fehl- zu Korrekt-Bits).

Schutzsysteme, die trotz mangelhafter Uebertragung einen genauen Datenaustausch erlauben, sind das Objekt von sowohl ganz abstrakten mathematischen Analysen (Fig. 6.) wie auch von praktischen Schaltungen (Fig. 7.)

Fig. 6 MODERNE ALGEBRA & CODIERUNG

MODULO N ARITHMETIK

EL * OP * EL = EL

EL: ELEMENT DER GRUPPE (RING, KOERPER/FELD)
OP: OPERATION

BEISPIEL: MODULO 5 ADDITIONSTAFEL

	0	1	2	3	4
0	0	1	2	3	4
1	1	2	3	4	0
2	2	3	4	0	1
3	3	4	0	1	2
4	4	0	1	2	3

ZUM CODIEREN, MODULO 2 ARITHMETIC

ADD = SUB = XOR

MULT = AND

CODE F (WIRD UEBERTRAGEN), N BITS

MESSAGE G K BITS	⊕	CHECK R N-K BITS

PHILOSOPHIE:

"CHECK=RESIDUE R SODASS ALLE CODE MEHRFACHE EINES GENERATORPOLYNOMES P" SIND

DANN GILT: REST VON F/P = O WENN RICHTIG, SONST FALSCH

Fig. 7 MODERNE ALGEBRA & CODIERUNG

PROZEDUREN:

G: MESSAGE
P: VERSCHLUESSELUNGS-POLYNOM
N: GESAMTLAENGE MIT REDUNDANZ
K: ANZAHL DER MESSAGE-BITS
R: DIVISIONS-REST

VORBEREITUNG ZUM SENDEN

G * / P = QUOTIENT + R G * = G NACH LINKS GESCHOBEN N-K STELLEN

SENDEN F = G * + R

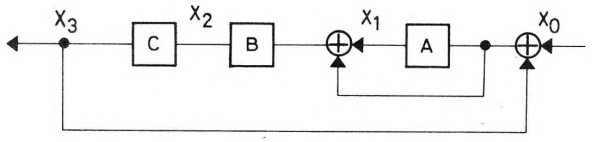
EMPFANGEN F + FEHLER

DECODIEREN (F + FEHLER) / P

BEISPIEL: CODE N=7, K=4
MESSAGE = 1010 P = 1011 (X3 + X + 1)

```
R =        1010000  /  1011  =  1001 + 011
           1011
              1000
              1011
               011          ALSO  F = 1010 011
```

DIVISION REALISIERT DURCH SCHIEBEREGISTER MIT RUECKKOPPLUNG
BEISPIEL:
GENERATOR 1011 ODER X3 + X + 1



Die Grundidee dieser Schutzsysteme ist eine Erweiterung der bekannten geraden oder ungeraden Parität (zu jedem binären Wort wird ein Paritäts-Bit gelegentlich addiert, damit die Summe der Bits innerhalb des Wortes gerade oder ungerade wird).

Bei entwickelten Systemen werden grössere Blöcke geschützt, indem ihr Wert auf ein Mehrfaches einer Primzahl ergänzt wird. Diese Konzepte fallen in das Gebiet der modernen Algebra und der Modulo-Arithmetik. Sie lassen sich dazu relativ leicht durch einfache Schieberegister- und Exklusiv-Oder-Schaltungen realisieren.

Für die U418-494 Computer steht eine spezielle Leitungseinheit zur Verfügung (PBT = Polynomial Buffer Terminal), in welcher die logische Verarbeitung der Fehlererkennung durch eine spezialisierte Elektronik durchgeführt wird.

Solche Systeme sind sehr leistungsfähig: auf Leitungen die nicht besser als 10^{-3} sind wird eine Fehlerrate von 10^{-12} erreicht. Dabei geht nur 15 % an Uebertragungskapazität verloren.

Referenzen:

1. H.J. Mey: "Rückgekoppelte Schieberegister, als Beispiel neuer Methoden digitaler Elektronik", Krieg im Aether, 7. Folge, 1967-68

2. W.W. Peterson: "Error-Correcting Codes", the M.I.T. Press, Buch

3. W.W. Sawyer: "Eine konkrete Einführung in die abstrakte Algebra", Hochschultaschenbücher 492/492a*.

4.2. Die Zuverlässigkeit der Apparaturen

Die Zuverlässigkeit der einzelnen Apparatur-Blöcke wird durch ihre MTBF (Mean Time Between Failures) und MTTR (Mean Time To Repair) -Werte angegeben. Da diese Werte nie den gestellten hohen Anforderungen entsprechen, wird meistens mit doppelter oder sogar dreifacher Redundanz gearbeitet. Beim Apollo-System wird die Redundanz auf dem Niveau der Hauptblöcke (Prozessor, Speicherblöcke, Massenspeicher, Leitungsmultiplexer) betrieben. Die Umschaltung geschieht manuell mit Hilfe von Transfer-Schaltern. Das zweite System wird als "aktiv Standby" betrieben; seine Speicher sind ständig "à jour" gehalten, es verarbeitet aber Batch-Programme. Diese können jederzeit abgebrochen werden um die Echtzeit-Aufgaben aufzunehmen. Das dritte System ist ein passives Standby. Im Falle wo das zweite System die Echtzeitverarbeitung übernimmt, wird das dritte System "aktiviert" und kommt somit in die zweite Position.

4.3. Programmfehler und automatischer Neustart (Recovery)

Bei Batch-Betrieb hat eine Fehlersituation des Steuer-Programmes keine katastrophale Auswirkung, da einfach das Applicationsprogramm neu gestartet wird. Im Echtzeit-Betrieb, wo neue Aufgaben von der Umgebung jederzeit zum Computer gelangen, müssen Unterbruchsperioden auf ein extremes Minimum reduziert werden. Der Programmablauf muss dazu so gestaltet werden, dass für den Fall eines möglichen Unterbruches regelmässig Resultate gespeichert werden. (Checkpoints). Nach einem Unterbruch wird das Steuerprogramm neu geladen, die Applikations-Programme in Verarbeitung werden beim Checkpoint wieder aufgenommen und die externen Stationen müssen informiert werden, um eventuelle Rückfragen zu verlangen oder eigene Neustarte zu veranlassen, da während der Recovery Periode Daten verloren gehen können. Eine solche automatische Recovery-Prozedur kann bis einer Minute Zeit beanspruchen.

5. Schlussfolgerung

Ausgedehnte Daten-Verarbeitungssysteme und Echtzeit-Betrieb zeigen den Weg in die Zukunft. An Hand des Apollo-Beispieles konnten die Hauptmerkmale solcher Systeme erklärt werden. Die grosse Bedeutung des Steuerprogrammes wurde unterstrichen; es stellt die Intelligenz dar, die eine harmonische Zusammenarbeit zwischen allen Systemblöcken erlaubt.

Was heute für die Raumforschung angewendet wird, soll morgen in unserem täglichen Leben Verwendung finden.