

Der folgende Beitrag ist die Niederschrift eines Vortrages, der auf der Tagung "PEARL in der Anwendung", die am 8. und 9.12.1980 in Düsseldorf stattfand, gehalten wurde.

PEARL — Betriebs- und Laufzeitsystem für den Mikroprozessor INTEL 8086

von R. Scharpf, Überlingen

Übersicht

Im BODENSEEWERK GERÄTETECHNIK wird an dem Konzept für ein Flugführungssystem hoher Sicherheit gearbeitet, das auf der Signalverarbeitungsseite vom Prinzip der dissimilaren Redundanz ausgeht. Die Arbeiten werden vom Bundesminister für Forschung und Technologie gefördert.

Flugführungsaufgaben werden typisch unter Verwendung von Mikroprozessoren realisiert. Die Programmierung der spezifischen Aufgaben erfolgte bislang vorwiegend auf Assemblerebene. Moderne Flugführungssysteme sind durch hohe Komplexität gekennzeichnet. Da jedoch Assemblerprogramme nur geringe Transparenz aufweisen, ist die Programmierenebene eines Assemblers nur noch bedingt geeignet für den Aufbau von Flugführungssystemen. Der Forderung nach Transparenz wird Rechnung getragen durch Einführung einer höheren Programmiersprache. Dieses Mehr an Transparenz muß jedoch im Vergleich zu Assemblerprogrammen durch umfangreicheren Programmcode sowie geringere Verarbeitungsgeschwindigkeit erkaufte werden. Ferner müssen schnelle effiziente Programmwerkzeuge (z.B. Betriebs-, Laufzeitsysteme) verfügbar sein, um solche Flugführungssysteme in einer höheren Programmiersprache zu realisieren.

Bei der o.g. Aufgabe wurde zur Auswahl einer geeigneten Programmiersprache ein Forderungskatalog mit folgenden Schwerpunkten erstellt:

- o Verfügbarkeit
- o hohe Transparenz, d.h. Sprachelemente für strukturierte Programmierung
- o hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit, d.h. nur wenig langsamer als Assemblerprogramm
- o speicheroptimaler Code
- o Portabilität auf Quellebene zu anderen Prozessoren
- o Echtzeitfähigkeit, d.h. Behandlung von parallelen Aktivitäten
- o effiziente Behandlung von digitalen Größen, z.B. Bitselektion
- o effiziente Behandlung von analogen Größen, z.B. Peripherieanschluß und Verarbeitung von skalierten Größen
- o Verarbeitung sowohl in Gleitkomma- als auch in Festkommaarithmetik

Die Bewertung des Forderungskataloges führte zur Auswahl von PEARL (Process and Experiment Automation Realtime Language). In Zusammenarbeit mit dem Softwarehaus GPP (Gesellschaft für Prozessrechner Programmierung) wurden bei BODENSEEWERK GERÄTETECHNIK PEARL-Compiler und PEARL-Codegenerator für den Zielprozessor INTEL 8086 auf dem Gastrechner INTERDATA 7/32 installiert. Compiler

und Codegenerator übersetzen das in PEARL geschriebene Quellprogramm in zwei Schritten in den Assemblercode des Zielprozessors. Das für den Zielprozessor notwendige Laufzeit- und Betriebssystem wurde unter den Gesichtspunkten Softwarezuverlässigkeit und hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit entwickelt und installiert.

Forderung an die Signalverarbeitung in Flugführungssystemen

Beim Einsatz von Mikroprozessoren in Flugführungssystemen muß dem Aspekt der Softwarezuverlässigkeit ganz besondere Beachtung geschenkt werden. Softwarezuverlässigkeit ist bedingt erreichbar u.a. durch Selbstkontrollsätze, direkte Adressierung und Fehlerbeschränkung (robuste Software). Direkte Adressierung bei allen speicherbedingten Operationen sowie Sprüngen verhindert zur Laufzeit zusätzliche Berechnungsfehler, da die Adresse des angesprochenen Speicherplatzes Teil der Maschineninstruktion und damit fest vorgegeben ist. Fehlerbeschränkung ist in allen Fällen sinnvoll, wo bei der Behandlung von Under-/Overflow-Bedingungen ein möglicher undefinierter Zustand entstehen kann. Durch geeignete Bereichsbegrenzung für den Fall der Bereichsüber-/unterschreitung kommt es lediglich zu einem Genauigkeitsverlust, aber keinesfalls zu einer groben Verfälschung (Vorzeichen) der Rechenergebnisse.

Die Anforderungen an die Verarbeitungsgeschwindigkeit können bei Flugführungssystemen extrem hoch sein, da mit mindestens 10 Verarbeitungs-Zyklen pro Sekunde gerechnet werden muß. Ferner besteht die Forderung, Volumen und Verlustleistung eines Flugreglers möglichst klein zu halten. Beide Forderungen führen zur Notwendigkeit, im PEARL-Codegenerator zeit- und kostenoptimalen Code für den Zielprozessor abzusetzen. Dies kann durch ein optimales Laufzeit- und Betriebssystem erreicht werden.

Da zur Zeit der Aufgabenstellung wie auch heute auf dem Software-Markt kein Laufzeit- und Betriebssystem das o.g. Anforderungen entsprechen könne, verfügbar ist, mußte dieses von BODENSEEWERK GERÄTETECHNIK entwickelt werden.

Das Laufzeitsystem

Das Laufzeitsystem übernimmt die Realisierung sprachspezifischer Anforderungen und schließt somit die Lücke zwischen Codegenerator und ablauffähigem Code.

Das erstellte Laufzeitsystem behandelt Aufgaben mit folgenden funktionellen Schwerpunkten:

- o Indexberechnung
- o arithmetische Operation

- o Schiebeoperation
- o Vergleichsoperation
- o Konkatenation
- o Ein/Ausgabe

Die Realisierung des Laufzeitsystems erfolgte unter der Forderung nach hoher Softwarezuverlässigkeit und hoher Verarbeitungsgeschwindigkeit. Dazu sind spezielle Maßnahmen erforderlich:

1. Der Codegenerator wertet Kenntnisse aus dem Compilerlauf aus. Entscheidungen bezüglich der Art der Parameter-Verknüpfungen, die üblicherweise erst zur Laufzeit erfolgen, werden bereits im Codegenerator getroffen.
Durch Anpassung abhängig von der Art der Verknüpfung und dem Typ der Operanden wird ein zeit- und speicheroptimaler Code erzeugt.
2. Der Zielprozessor INTEL 8086 ist eine registerorientierte Maschine und bietet effektive und schnelle Register-Operationen an. Im Codegenerator werden alle Operationen mit dem Datenformat FIXED, BIT, CLOCK, DURATION prinzipiell als Registeroperationen formuliert, in manchen Fällen ist dies auch beim Datenformat FLOAT und CHARACTER möglich. Diese Registeroperationen werden vom Codegenerator in-line, d.h. als direkte Codefolge abgesetzt; speicherintensive Laufzeitoperationen werden off-line in Form eines Prozeduraufrufs gelöst.
3. Der Codegenerator setzt für triviale Operationen (z.B. Addition von NULL) keinen Code ab.
4. Die für Anwendungen mit geforderter hoher Signalgenauigkeit notwendige Gleitkommaarithmetik wurde anstelle eines Softwarepaketes mit Hilfe eines verarbeitungsschnellen (Addition: 33 µsek, Multiplikation: 84 µsek) Hardwaremoduls realisiert.
5. Die in einem Regelungssystem zu verarbeitenden Eingangssignale sind üblicherweise skaliert; eine effiziente regelungstechnische Bearbeitung ergibt sich unter Beibehaltung der Skalierung. Um dies gewährleisten zu können, wurde neben den üblichen Zahlentypen FIXED und FLOAT der Zahlentyp "skalierte Zahl" eingeführt und im Laufzeitsystem berücksichtigt.

Die Realisierung obengenannter technischer Maßnahmen im Laufzeitsystem führt bei Einschränkung auf Maschinenwortlängen von 8 bit, 16 bit und 32 bit zu einem Code, der sich nur unwesentlich von dem des effizienten Assemblercodes unterscheidet.

Das Betriebssystem

Ein eigens auf regelungstechnische Randbedingungen sowie PEARL-spezifische Eigenschaften abgestimmtes Betriebssystem ergänzt die Eignung von PEARL für den eingangs beschriebenen Anwendungsfall.

Ein Betriebssystem beinhaltet all jene Module, die die laufende Kontrolle über Einrichtungen wie Prozessor, Speicher, Ein/Ausgabegeräte und Dateien ausüben. Diese Module vermeiden systemspezifische Konflikte, regeln und optimieren den Ablauf als Ganzes und vereinfachen die Benutzung des Systems. Sie bilden in ihrer Gesamtheit das Bindeglied zwischen dem Anwenderprogramm und dem physikalischen Prozessor-system.

Aus der regelungstechnischen als auch PEARL-eigenen Aufgabenstellung ergeben sich folgende Komponenten des Betriebssystems:

- o Ablaufsteuerung
- o Speicherverwaltung
- o Ein/Ausgabensteuerung

Die einzelnen Komponenten unterliegen in ihrer Gesamtheit den technischen Randbedingungen des zu realisierenden Flugführungssystems, das auf der Signalverarbeitungsseite aus einem Einprozessorsystem mit residentem Speicher und digitaler Ein/Ausgabe besteht, das externen Speicher sowie Standardperipherie nicht enthält.

Die Ablaufsteuerung verwaltet einen oder mehrere Prozesse, indem nach vorgegebenen Entscheidungshilfen ein Prozeß ausgewählt und dem Prozessor zugeordnet wird. Dieser Vorgang wird möglich gemacht durch eine geeignete Buchführung in Form von Prozeßleitblöcken, in denen die Beschreibung, die Laufparameter und die Verwaltungsdaten eines Prozesses enthalten sind. Die Prozeßleitblöcke und damit die Prozesse selbst werden in einer linear verketteten Liste mit statischer Reihenfolge geführt, deren Prioritäten von der PEARL-Quelle fest vorgegeben sind; ein timescheduling erscheint für diese Art von Anwendung nicht sinnvoll. Das sonst übliche Führen von mehreren Listen (Warteliste, Interruptliste) und das damit verbundene Ein/Ausketten von Prozeßleitblöcken entfällt und somit wird die Umschaltzeit zwischen den Prozessoren auf ein Minimum reduziert.

Der für Daten vorgesehene Speicherbedarf umfaßt 64 kByte. Die globalen Daten, d.h. Daten, die für die gesamte Laufzeit allen Prozessoren zugänglich sind, werden speicherresident angelegt. Damit reduziert sich die Speicherverwaltung auf die Verwaltung automatischer Daten, die dynamisch und nach dem Prinzip eines Stacks gehandhabt werden.

Auch die Ein/Ausgabeverwaltung ist durch die technischen Anforderungen der Anwendung auf die Versorgung der Prozeßperipherie mit binären Daten beschränkt. Diese sind, wenn es sich nicht um das Datenformat CHARACTER handelt, schon durch das Laufzeitsystem abgehandelt.

Die oben beschriebenen Betriebs- und Laufzeitsysteme sind modular aufgebaut. Für spezifische Anwendungsfälle werden aus Gründen der Speicheroptimierung nur die jeweils benötigten Module in das Prozeßsystem eingebunden.

Zusammenfassung

Die Komponenten des obengenannten Flugführungssystems wurden mit dem implementierten Betriebs- und Laufzeitsystem in PEARL realisiert und in Betrieb genommen. Die ersten Ergebnisse aus der Inbetriebnahme entsprechen in allen Punkten den Forderungen und bestätigen nachträglich die Wahl von PEARL.

Dem Entwickler wurde mit PEARL ein Werkzeug zur Verfügung gestellt, das ihm erlaubt, die regelungstechnische Aufgabe sehr effizient zu behandeln. Das auf die bei Flugführungssystemen gegebenen speziellen Anforderungen angepaßte Betriebs- und Laufzeitsystem ist hinsichtlich der Verarbeitungsgeschwindigkeit als auch des Speicherbedarfs optimiert worden.