

氏 名	高橋正弘
授与学位	工学博士
学位授与年月日	平成2年4月11日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最終学歴	昭和42年3月 東北大学工学部電気工学科卒業
学位論文題目	分散形計算機制御用ループ伝送システムの研究
論文審査委員	東北大学教授 野口 正一 東北大学教授 竹田 宏 東北大学教授 樋口 龍雄 東北大学助教授 白鳥 則郎

論 文 内 容 要 旨

本研究は、分散形計算機制御システム構築に適した制御用LAN (Local Area Network) のアーキテクチャに関するものである。分散形計算機制御システムは、鉄鋼、化学プラント、交通、水処理などのプラント制御の分野において、多数の計算機、コントローラを高速な制御用LAN (ループ伝送システム) で相互に結合し処理を分散することにより、高速応答性の確保、危険分散、容易な拡張性等の実現を目的としたものである。このため、制御用LANには、制御性能の点から厳しいリアルタイム性、高スループット性、また中枢神経系としての高い信頼性が要求される。本研究の目的は、制御用LANのアーキテクチャを明らかにしその設計手法を確立することであり、以下研究の概略を列記する。

まず第2章では、分散形計算機制御システム構築には、図2.1に示すようにそのシステム階層に応じて制御系/情報系の二種の通信ネットワーク (ループ伝送システム) が必要であることを明らかにし、各通信ネットワークのアーキテクチャ、要求仕様、技術課題を示した。鉄鋼などの大規模なプラント制御システムでは、階層形機能分散化システムを指向しつつあり、これに伴って (i) 工場構内の広域に分散した複数の計算機を接続し、オンライン生産管理、品質管理等のプラントレベルでの情報処理を目的とした情報系ループ伝送システム、(ii) プラント内に分散設置されているコントローラ、センサ、操作機器等を接続して、高速応答なDDC、シーケンス制御等の分散制御を目的とした制御系ループ伝送システムが必要であることを明らかにした。以下、表2.2に示す技術課題について具体的な検討を行った。

第3章では、ループ伝送システムを実現する上での第1の課題である、デジタル伝送路の高速化/長距離化方式について述べた。具体的には、同軸ケーブルを用いて非等化系のベースバンド伝

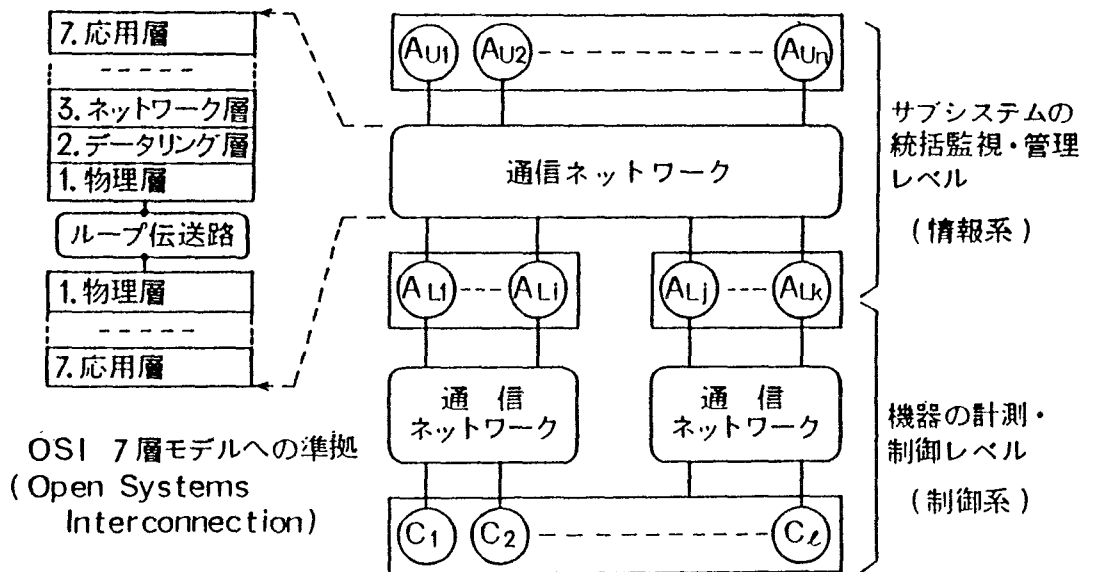
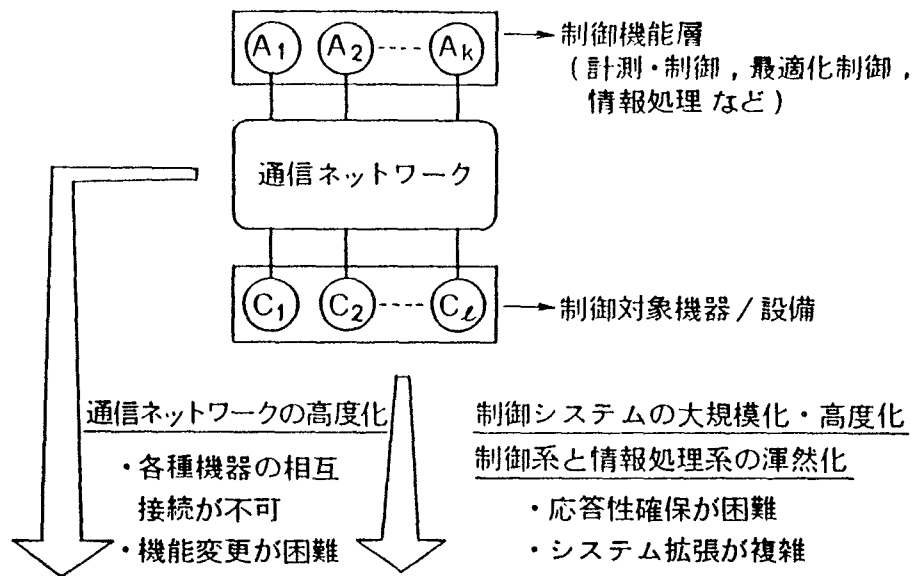


図 2.1 分散形計算機制御システムのモデル

表 2.2 分散形計算機制御用ループ伝送の技術課題

項目	目的	技術課題	
デジタル 伝送路	・伝送速度・距離積の 向上	・伝送符号の選定 ・受信波形ひずみの改善	3章
制御系ループ 伝送制御方式	・サイクリック/ メッセージ通信の混在	・周期/非周期データの ハイブリッド伝送 (伝送遅延とメッセージ転送 スループットの評価)	4章
情報系ループ 伝送制御方式	・大容量メッセージ通信	・高スループット/高速応答な パケット通信(パケット転送 応答時間の評価)	5章
ループ 再構成制御	・ループ伝送システムの 高信頼化/稼働率 の向上	・ループ再構成制御の確立と 信頼度評価	6章
システム 総合評価	・システム設計方法の検証	・ネットワークの総合性能 ・システム稼働率評価	7章

送を行う場合を対象とし、伝送符号として100%デュティのAMI (Alternate Mark Inversion) 符号とマンチェスタ符号を取り上げた。各伝送符号の最悪伝送パターンを明らかにし、この伝送パターンにおける雑音余裕度、時間識別余裕度、パルスひずみ度を計算、及び実験により求めた。この結果、伝送速度～2 Mb/s、伝送距離～2 kmの範囲においてマンチェスタ符号が有利であることを明らかにした。また、簡単なデジタル的な手段により伝送波形を改善する方法を提案し、これを評価した結果、伝送距離限界を1.8倍程度大きくできることを示した。

第4章では、制御系ループ伝送システムに必要なプロセスデータの周期的な転送であるサイクリック通信と計算機間的高速データ転送であるメッセージ通信のハイブリッド化伝送方式について述べた。伝送制御方式として、制御ステーションで送信権周回の時間管理ができるポーリング方式をベースにパケット転送性能の向上を図った先行ポーリング方式を提案した。また、ポーリング方式の欠点である送信機会の不平等性を解決するため、通過経路数により優先順位を制御する方式を立案した。提案方式をシミュレーションにより性能評価した結果、提案の先行ポーリング方式が通常ポーリング方式に比べてパケット転送時間の短縮が図れること、及び優先制御付トークン方式に比べて同期データの伝送遅延を小さくできることを明らかにした。

第5章では、大容量メッセージ通信に適した高スループットでパケット転送応答時間の短縮を図った伝送制御方式の提案とその性能評価について述べた。伝送制御方式としては、パケット転送応答

時間の短縮を図るため、データ転送、応答確認、データ再送の各フェーズを一体化した方式を提案した。また、提案方式において、簡易なシーケンス番号管理による送達確認と再送制御方式、ループネットワークのロックアップ防止策を明らかにした。更に、提案方式が従来のデータ転送と応答確認/再送のフェーズを分離した方式と比較して、スループットで1.05倍（伝送速度 10Mbps）、1.05倍（伝送速度 32Mbps）、1回のデータ再送発生時の転送応答時間で1.8倍程度の向上が図られたことを示した。

第6章では、ループ伝送システムの信頼度をさせるためのループ再構成制御において、定量的な信頼度評価方法について述べた。具体的には、従来検討されていた2重ループの予備系に切り替えるループ切替、障害点で伝送路を折り返すループバック方式に障害ステーションを迂回するバイパス方式を組み合わせた場合の信頼度評価について検討した。評価項目は、1重ループのステーション稼働率を基準とした相対信頼度、及び障害時の平均切り離しステーション台数である。この定量評価の結果、信頼度向上の点から、ループ切替、バイパス、ループバック方式の順でループ再構成制御を実行することが必要であることを明らかにした。

第7章では、これまで述べてきたデジタル伝送路、制御系/情報系ループの伝送制御の設計に対してシステム全体としてその狙いが達成されているかについて総合的な評価を行った。まず、デジタル伝送路において、伝送媒体、伝送符号と伝送速度、伝送距離の関係を明らかにした。具体的には、①数Mbps・kmのデジタル伝送路は同軸ケーブル、マンチェスタ符号、②10～数十Mbps、数kmでは光ファイバ、マンチェスタ符号、③数十～100Mbps、～10kmでは8B10B等のマンチェスタ符号より伝送効率のよい符号であることを示した。次に、制御系ループにおいて、システム規模とサイクリック通信/メッセージ通信の性能限界について検討した。この結果、①サイクリック通信では、転送周期=50～数百ms、接続可能ステーション数=64台（16語/ステーション）、②メッセージ通信では、メッセージ転送能力=60～100MSG/秒（メッセージ長 1.85kバイト）であることを示した。最後に、情報系ループにおいて、ネットワークユーザから見たネットワーク性能（メッセージ転送スループット、転送応答時間、計算機/前処理装置の負荷率）とシステム規模の関係をモデルシステムを用いて、GPSS（General Purpose System Simulator）により評価した。この結果、ホスト計算機と端末計算機のメッセージ転送スループットは、それぞれ90、20メッセージ/秒である。また、ホスト計算機/端末計算機のトラヒック分布とループ伝送システムとしての処理可能なメッセージ数の関係を明らかにできた。最後に、実績データをもとにループ全体システムの不稼働率について検討し、ループ切替にステーション・バイパス、ループバック等を組合せることにより 10^{-6} ～ 10^{-6} オーダの不稼働率が確保できることを示した。

以上述べてきたような分散処理ネットワークシステムは、制御用途のみならずワークステーション/オフコンなどのOAシステム、分散データベースシステムなどの分野での展開が進められている。このような状況のもとで本研究結果が、今後の分散ネットワークシステムの開発の参考になるものと考えられる。

審 査 結 果 の 要 旨

分散形計算機制御システムは、鉄鋼、化学プラント、電力等のプラント制御の分野において、多数の計算機、コントローラを高速な制御用LAN（Local Area Network）で相互に結合し、信号処理を分散することにより高速応答性の確保、危険分散、容易な拡張性等の実現を目的としている。このため、制御用LANには制御性能の点から厳しい実時間性、高スループット性、高稼働性が要求されており、未だ、その設計法は確立されていない。本論文は、制御用LANに適したループ伝送システムについて研究し、効果的なシステムの設計方法を与えたものであり、全編8章より成る。

第1章は序論であり、制御用LAN全般について概説している。

第2章では、分散形計算機制御システム構築には制御系と情報系の通信ネットワークが必要であることを明らかにし、そのアーキテクチャ、要求仕様、技術課題を示している。

第3章では、デジタル伝送路において、非等化系波形伝送の評価法を示し、伝送符号の比較評価と選択法を考察している。更に、波形歪の改善方法を提案し、伝送距離が1.8倍程度改善できることを示している。これらは興味ある知見である。

第4章では、制御系ループ伝送において、サイクリック通信とメッセージ通信のハイブリッド伝送制御方法について論じている。この中で時間管理を行う先行ポーリング方式を提案し、伝送遅延、メッセージ転送時間等の性能を評価しその有効性を確認している。

第5章では、情報系ループ伝送において、大容量メッセージの高スループット通信を実現する伝送制御方式について論じている。データ転送、応答確認、データ再送の各フェーズを一体化して転送応答時間の短縮を図る方式を提案し、シミュレーションによりその有効性を確認している。これらは重要な成果である。

第6章では、ループ再構成制御において、従来検討されていなかったバイパス方式を考慮したループ切り替え、ループバックの組み合わせを用いた構成制御方式を提案し、この方式によるシステムの信頼度評価方法と本制御方式の有効性を示している。これらは興味ある成果である。

第7章は、前章までに述べた設計法に基づいたシステムを構成して総合的な評価を行い、提案した設計法の有効性を確認している。

第8章は結論である。

以上要するに、本論文は分散形計算機制御システム設計の上で、重要なループ伝送システムの構成及び設計法について詳細な研究を行った成果をまとめたもので、情報通信工学、計算機工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。