

通信制御アダプタの性能に関する一考察

松井 達、横山達也、柳生和男、寺田松昭
(日立製作所システム開発研究所)

1. まえがき

高度情報化社会の進展に伴い、これまで、スタンドアロンで使われて来たワードプロセッサ (Word Processor : WP) やパーソナルコンピュータ (Personal Computer : PC) 等の情報機器をネットワーク化した、オフィスオートメーション (Office Automation : OA) システムやファクトリオートメーション (Factory Automation : FA) システムへのニーズが急速に高まっている。OAシステムやFAシステムはローカルエリアネットワーク (Local Area Network : LAN) を中核として形成されることから、LANへの注目度も益々増加して来ている¹。

OAシステムやFAシステムへの適用を考えると、LANには、① 接続容易なインターフェース ② 高い転送能力 等が要求される。これらの要求条件を満たすため、LAN制御装置の形態として、従来の筐体型に変わり、ボード型つまりLANアダプタータイプが主流になりつつある。

本論では、LANアダプタに対する要求事項を整理し、その内、高性能化に関し、LANアダプタが内蔵されるWPやPC本体 (以下ホストと記す) とLANアダプタとの間のインターフェース方式について述べる。

2. LANアダプタに対する要求事項

図2.1にLANを中核としたOAシステムの構成例を示す。

このような構成を考えた場合、LANには、次のような事項が要求される。

(1) 高性能

ファイルサーバやプリンタサーバ等の装置とワークステーション (Work Station : WS) 間の大量ファイルの高速転送を実現する

(2) 接続容易なインターフェース

種々のWS, WP, PC等に適用が容易なハード/ソフトインターフェース

(3) 高機能

LANアダプタの機能を高め、WSの通信制御のための負荷を軽減する^{2,3}

以下では、これらの要求事項のうち、高性能化を実現するための方式を中心に述べる。

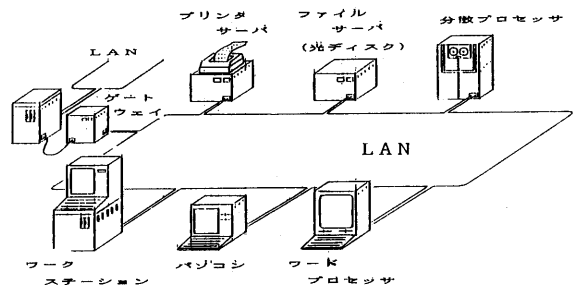


図2.1 OAシステム構成例

3. LANアダプタの高性能化

マンドやデータのやりとりを行なう処理

3.1 高性能化の方策

LANアダプタの性能のメジャーとして、スループット（単位時間当りにLANアダプタを通過するデータ量と定義する）を考える。ここでは、パケット交換を行なうLANを考えているので、スループットは次式で表すことができる。

スループット

$$= \quad (\text{単位時間当りにLANアダプタを通過するフレーム数}) \\ \times (\text{フレーム当りのデータ長})$$

つまり、スループットを向上させるには、単位時間当りにLANアダプタを通過するフレーム数を増やし、かつ、フレーム当りのデータ長を長くすればよい。

以下では単位時間当りにLANアダプタを通過するフレーム数を増加させることを考える。そのためには、1フレーム当りの処理時間を短くする必要がある。LANアダプタにおけるフレーム処理内容は、大きく、以下の三項目に分けることができる。

(1) 伝送路インタフェース処理

フレームの伝送路への送信処理及び伝送路からの受信処理

(2) 通信プロトコル処理

(3) ホストインタフェース処理

LANアダプタを内蔵するWS本体（ホスト）とLANアダプタとの間で、コ

このうち、伝送路インタフェース処理について考えると、最近、LANアクセスを専用のLSIにより行なうことが多く、伝送路インタフェース処理はLSIとのインタフェース処理が中心となっている。故に、使用するLSIが決まればインタフェース処理の内容はほぼ決まり、処理時間もほぼ決定する。また、通信プロトコル処理についても、プロトコルが決まれば（プロトコルを決めるには多くの課題があるが）処理時間もほぼ決定する。ところが、ホストインタフェース処理は、その内容がインタフェースのハード/ソフト方式に大きく依存しており、かつ、その方式には種々のものがあるため、処理時間を考えるにはホストインタフェース方式について十分検討する必要がある。

3.2 ホストとのインタフェース方式

ホストとLANアダプタのインタフェース方式として、以下の三方式が考えられる*。

(1) 2ポートメモリ方式

LANアダプタ上に、ホスト側のCPU（メインプロセッサ：MP）とアダプタ上のCPU（ローカルプロセッサ：LP）の両方からアクセスできる2ポートメモリを設け、2ポートメモリ上でインターフェースを取る方式

(2) バス直結方式

ホスト側のメモリ（メインメモリ：MM）をLPがアクセスできるようにし、

MM上でインタフェースを取る方式

(3) I/Oポート結合方式

LANアダプタ上に、MP及びLPの両方からアクセス可能なレジスタ(I/Oポート)を設け、I/Oポート上でハンドシェイクによりインタフェースを取る方式

図3.2.1に三方式を示す。

この三方式について、送信スループット及びホストCPUの負荷を比較する。

3.3 スループット

まず、ホスト側のプログラムを、データ転送要求をだすユーザプログラムと、その要求を受けて、LANアダプタを起動するネットワークソフトに分けて考える。送信スループット(S)を、ユーザプログラムがネットワークソフトウェアに対しLバイトのデータの送信要求を出してから、その完了報告を受けるまでの時間(T)を用いて、

$$S = \frac{L * 8}{T}$$

と定義する。

次に、以下の記号を定義する。

- n : セグメント数
- m : 処理多重度
- t1 : 送信要求受付処理時間
- t2 : セグメンティング処理時間
- t3 : 送信プロトコル処理時間
- t4 : データフレーム送信時間
- t5 : 応答待時間
- t6 : 応答フレーム受信時間
- t7 : 応答受信プロトコル処理時間
- t8 : 送信完了報告処理時間

ここで、セグメンティング処理時間とは、データの分割処理時間、バッファ獲得処理時間及びホスト-アダプタ間のデータ転送時間である。

方式による区別が必要な場合には、以下のサフィックスを付けて区別する。

- P : 2ポートメモリ方式
- B : バス直結方式
- I : I/Oポート結合方式

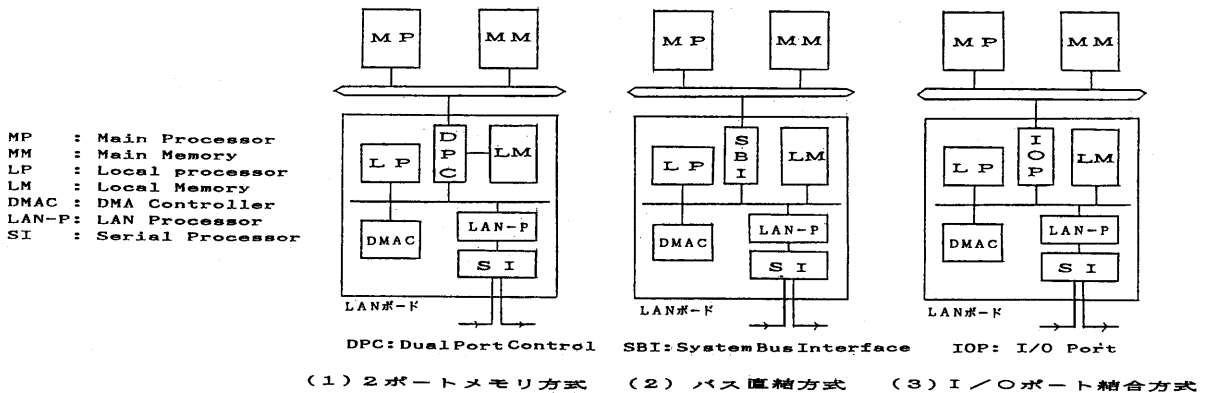


図3.2.1 ホストとのインタフェース方式

図 3. 3. 1 にユーザプログラムが送信要求を出してから完了報告を受けるまでのタイムチャートを示す。各方式の特徴をいかに示す。

(1) 2ポートメモリ方式

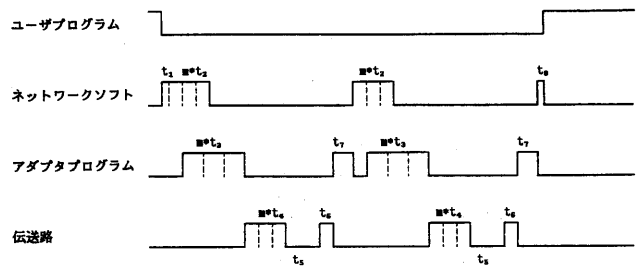
2ポートメモリ方式では、セグメンティング処理はホスト側のネットワークソフトウェアで行う。故に、ホスト側のセグメンティング処理とアダプタ側の通信プロトコル処理は並列に行うことができる。

(2) バス直結方式

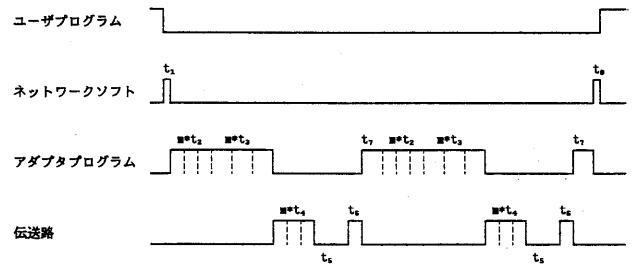
バス直結方式では、セグメンティング処理は、アダプタ側で行う。故に、セグメンティング処理と通信プロトコル処理はシリアルに行われる。

(3) I/Oポート結合方式

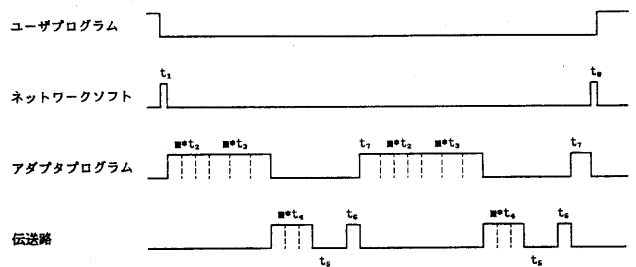
I/Oポート結合方式では、セグメンティング処理はホストとアダプタの両方で協力して行う。また、ホスト-アダプタ間のデータ転送は、数バイトのレジスタを介してハンドシェイクで行われるため、他の方式に比べて時間がかかる。



(a) 2ポートメモリ方式



(b) バス直結方式



(c) I/Oポート結合方式

図 3. 3. 1 送信処理タイムチャート

ユーザプログラムが送信要求を出してから完了報告を受けるまでの時間 T は以下の式でかける。

$$T^P = t1 + k \{ t2^P + m (t3 + t4) + t5 + t6 + t7 \} + t8$$

$$T^B = t1 + k \{ m (t2^B + t3 + t4) + t5 + t6 + t7 \} + t8$$

$$T^I = t1 + k \{ m (t2^I + t3 + t4) + t5 + t6 + t7 \} + t8$$

ここで、 k はセグメント数 n を処理多重度 m で割った値である。

次に、各処理のステップ数及び時間を表 3. 3. 1 のように仮定する。また、ホスト及びアダプタの CPU の MIPS 値及びバス転送速度を表 3. 3. 2 のように仮定する。ここではホストの能力として二種類考えている。ホスト 1 及びアダプタはマイコンレベル、ホスト 2 は専用プロセッサレベルを考えている。

各パラメータの組み合わせとして四つの条件を考える。表 3. 3. 3 に四つの条件を示す。条件 1 を基準とし、条件 2 はホストの能力がアップした場合、条件 3 は最大フレーム長が長くなった場合、条件 4 は伝送速度が速くなった場合である。

まず、条件 1 の場合のメッセージ長とスループットの関係を図 3. 3. 2 に示す。メッセージ長が最大フレーム長より短い場合には 2 ポートメモリ方式とバス直結方式のスループットは変わらない。しかし、メッセージ長が最大フレーム長より長くなると、2 ポートメモリ方式の方が高スループットが得られる。これは、2 ポートメモリ方式では、セグメンティング処理と通信プロトコル処理が並列に行えるのに対し、バス直結方式では、リアルにしか行えないからである。I/O ポート結合方式は、他の二方式に比べセグメンティング処理時間が大きくなり、スループットは上がらない。

図 3. 3. 3 に条件 2 の場合を示す。三方式とも、ホストの能力の向上によりスループットも向上する。その内、バス直結方式が最も向上率が高く、2 ポートメモリ方式との差が小さくなっている。これは、2 ポートメモリ方式とバス直結方式のスループットに相違を与えていたセグメンティング処理時間がホストの能力が向上することにより小さくなったためである。I/O ポート結合方式のスループットの向上率はあまり大きくない。これは、ホスト-アダプタ間のデータ転送速度がアダプタ側の CPU の能力により決まってしまうため、ホスト側の能力を上げてあまり効果が無いためである。

表 3. 3. 1 各処理のステップ数及び時間

項番	処理内容	値
1	送信要求受付処理	500ステップ
2	セグメンティング処理 (データ転送を除く)	500ステップ
3	送信プロトコル処理	1500ステップ
4	応答受信プロトコル処理	1500ステップ
5	送信完了報告処理	500ステップ
6	ハンドシェイク処理	10ステップ/B
7	応答待ち時間	10msec

表 3. 3. 2 MIPS値とバス転送速度

項番	装置	MIPS値	バス転送速度
1	アダプタ	0.25	1 MB/s
2	ホスト1	0.25	1 MB/s
3	ホスト2	1.0	4 MB/s

表 3. 3. 3 パラメータ値の組み合わせ

条件	ホスト	最大フレーム長(byte)	伝送速度(Mbps)
1	1	512	1
2	2	512	1
3	1	2048	1
4	1	512	4

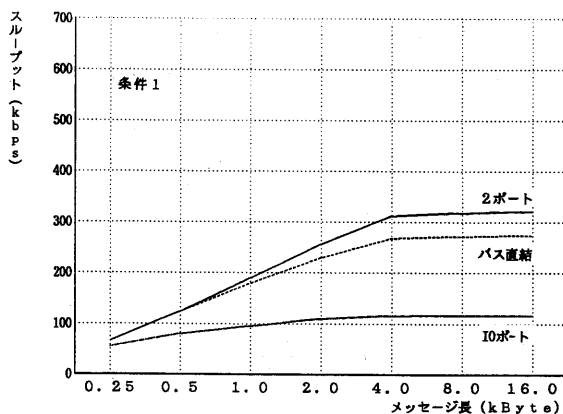


図 3. 3. 2 メッセージ長 vs スループット

図 3. 3. 4 に条件 3 の場合を示す。三方式とも最大フレーム長の増加によりスループットが向上している。向上率は、2 ポートメモリ方式とバス直結方式ではほぼ同程度であ

るが、I/Oポート結合方式では他に比べて低い。

図3.3.5に、条件4の場合を示す。条件4の場合も、I/Oポート結合方式の場合のスループットはあまり向上しない。

以上の結果、スループットに関して纏めると以下ようになる。

- (1) ホスト側のCPUの能力がアダプタ側のCPUの能力と同程度の場合には、2ポートメモリ方式が有利である。
- (2) ホスト側のCPUの能力が向上すると2ポートメモリ方式とバス直結方式の差は小さくなる。
- (3) I/Oポート結合方式は、各条件においてあまりスループットが変わらない。これは、I/Oポートによるハンドシェイク処理のオーバーヘッドが大きく、スループットはこの時間によりほぼ決まってしまうからである。I/Oポート結合方式においてスループットを向上させるには、ハンドシェイク処理時間を小さくする工夫が必要である。

3.4 ホストCPUの負荷

次に、ホストCPUの負荷について考える。ホストCPUの負荷 ρ は、ユーザプログラムが送信要求を出してから完了報告を受け取るまでの時間TとホストCPUが処理を行う時間の比で表すことができる。三方式について ρ を求めると以下の式になる。

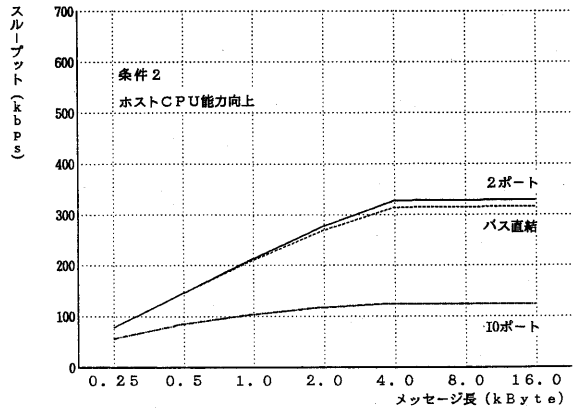


図3.3.3 メッセージ長 vs スループット

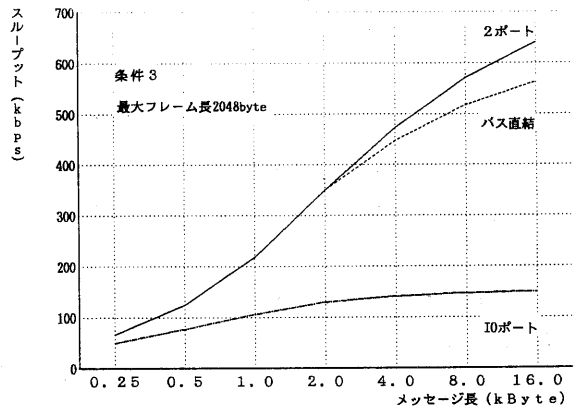


図3.3.4 メッセージ長 vs スループット

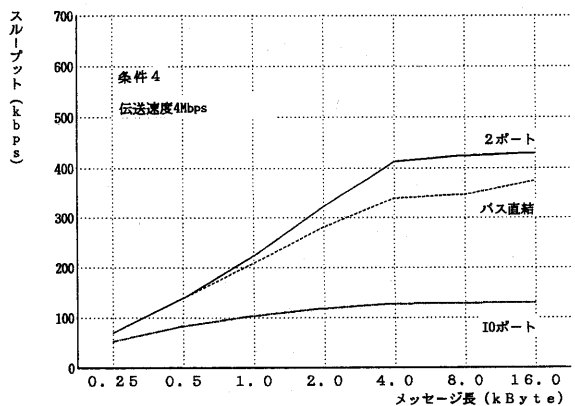


図3.3.5 メッセージ長 vs スループット

$$\rho^P = \frac{t1 + k \cdot t2^P + t8}{T}$$

$$\rho^B = \frac{t1 + t8}{T}$$

$$\rho^I = \frac{t1 + n \cdot t2^I + t8}{T}$$

3. 3章で述べた条件1～4に対するホストCPUの負荷を図3. 4. 1～4に示す。

図からわかるように、各条件に対し、バス直結方式が最もホストCPUの負荷が小さくなっている。2ポートメモリ方式では、条件2（ホストの能力の向上）及び条件3（最大フレーム長の増加）の場合に、ホストCPUの負荷が小さくなるのがわかる。さらに、2ポートメモリ方式とバス直結方式のスループットの違いを考慮すると、スループットで規格化して考えた場合には、両方式のCPU負荷の差はもう少し小さくなる。I/Oポート結合方式では各条件においてホストCPUの負荷は大きくなっている。これについても、スループットで規格化するとCPU負荷はもっと大きくなると考えられる。

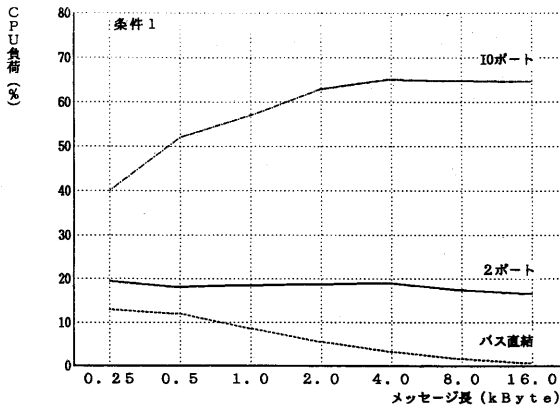


図3. 4. 1 メッセージ長 vs ホストCPU負荷

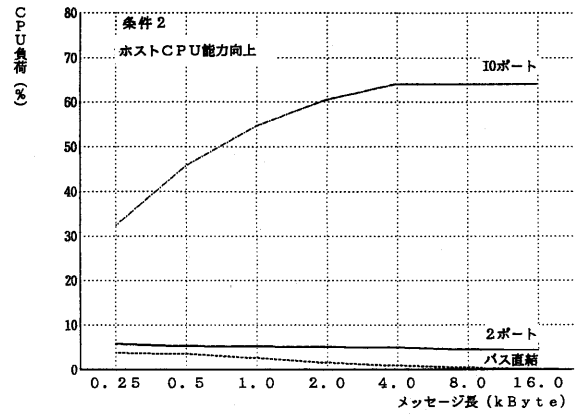


図3. 4. 2 メッセージ長 vs ホストCPU負荷

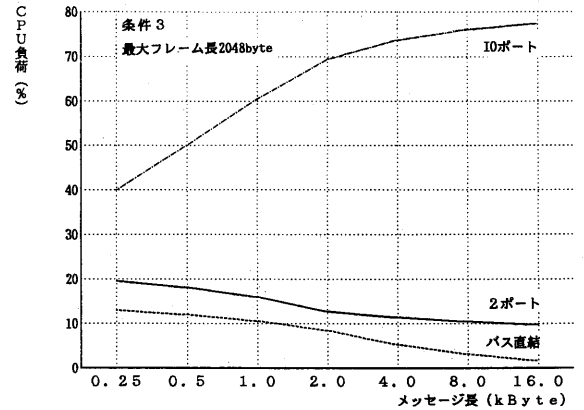


図3. 4. 3 メッセージ長 vs ホストCPU負荷

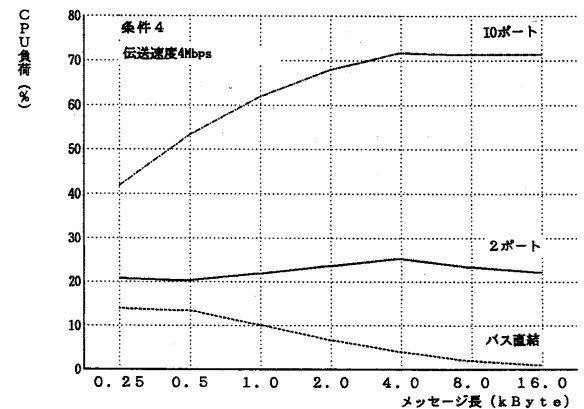


図3. 4. 4 メッセージ長 vs ホストCPU負荷

3.5 三方式の比較

三方式の比較を表3.5.1に示す。2ポートメモリ方式とバス直結方式については、スループットとホストCPU負荷はトレードオフの関係にあり、システム設計上、どちらを重視するかにより選択が異なってくる。ただし、ホストCPUの能力が向上した場合には両方式の差は小さくなる。

I/Oポート結合方式は、全ての場合について、他の方式より特性は良くない。このことから、I/Oポート結合方式を選択するのは以下の場合に限られると考えられる。

- (1) I/Oポート結合方式は、他の方式に比べ、ハード量を小さくできると考えられる。このことから、システム設計上、ハード量を極力少なくしたい場合
- (2) ハンドシェイク処理をDMA等を使って高速に行うことができる場合

4. あとがき

LANアダプタを内蔵するWS本体と、アダプタ間のインタフェース方式として、①2ポートメモリ方式、②バス直結方式、③I/Oポート結合方式を考え、スループット及びホストCPU負荷の比較を行った。

比較の結果、①2ポートメモリ方式とバス直結方式については、スループットとホストCPU負荷はトレードオフの関係にあること、②I/Oポート結合方式は、全ての条件で他の方式に比べ特性が劣り、特性向上のため

表3.5.1 三方式の比較

インタフェース方式	スループット	ホストCPU負荷
2ポートメモリ方式	○	△
バス直結方式	△	○
I/Oポート結合方式	×	×

には、ホストCPUとアダプタ間のハンドシェイク処理を高速化する必要があることを明らかにした。

〈参考文献〉

- [1] 石田、"ローカルエリアネットワークの応用"、情報処理、vol23, No.12, pp1161-1168, (1982)
- [2] J.S.Marcus, J.L.Mower, "Designing An Ethernet Interface Architecture For The System/370", COMPCON'82 FALL, pp29-36
- [3] E.Efron, J.P.Devita, "Implementing An Ethernet LAN, THE 'EASYWAY'", COMPCON '84 SPRING, pp255-257
- [4] 福澤 他、"マルチ仮想回線動的チャネル割当方式による高性能LANアダプタの一方式", 「LAN/マルチメディアの応用と分散処理」シンポジウム論文集、pp69-76(昭59年10月)
- [5] B.Meister, P.Janson, L.Svobodova, "File Transfer in Local Area Network A Performance Study", 5-th International Conference on Distributed Computing System, 1985