

當山 孝義†

高橋 篤夫†

堀口 進††

†日本工業大学電気電子工学科 ††北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科

## 1. はじめに

超並列・分散計算機システムにおいては、高性能でコストパフォーマンスの高い通信ネットワークが必要とされている。低速通信路と高速通信路で構成される不均質な通信ネットワークの性能は、高速通信路の数と位置に依存する。コストパフォーマンスの高い通信ネットワーク構築には、高速通信路の適切な配置が重要である。

本稿では、高速通信路設備の配置における実用的な評価指標として  $r$  対距離和を提案し、他の評価指標である距離和や全対距離和との比較検討を行う。

## 2. 通信ネットワークと設備配置

超並列・分散計算機システムでは、各プロセッサは通信路で接続される[1]。本稿では、木構造ネットワークを取り扱う。そして、通信システムを通信ネットワークの平均通信レイテンシで評価する。

高速通信路の集まりは、設備と見ることができる。すなわち、通信ネットワークを低速通信路で構成したネットワークに設備を付加するモデルで表す(図1)。低速通信路ネットワークは、各プロセッサをノード、各通信路を辺とするネットワークで表す。各辺には長さが与えられ、2プロセッサ間の通信レイテンシは二点間の距離、すなわち二点間のパスの長さとなる。このパス上に設備を配置することで通信レイテンシを削減する。通信ネットワークの構築コストは、低速通信路ネットワークの構築コストと設備の実装コストの和となる。

設備がバス形状や木形状の場合、対応する高速通信路は隣接しているので一体化でき、高性能低コスト

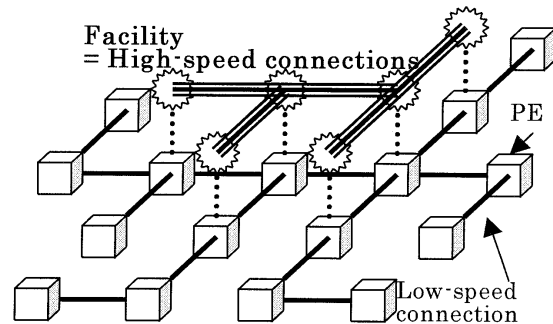


Figure 1. Tree networks with the facility

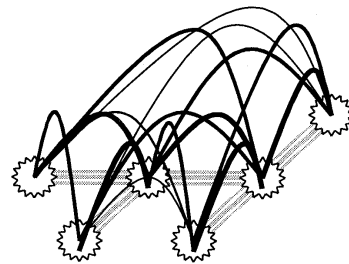


Figure 2. One implement of the facility: low-cost/low-speed complete connections.

な設備を実装できる(図2)。バス形状や木形状設備は低速通信路に平行配置するので、通信ネットワークの配線構造やルーティングは設備を付加しても実質的に変わらないという利点がある。

設備の実装コストは、その実装方法に依存する。ここでは、設備に含まれる辺の長さの和である設備サイズを用いる。設備サイズの指定により、予算に合わせた通信ネットワーク構築が期待できる。なお、特定の実装を反映した実装コストも考えられる[2]。

## 3. 設備配置の評価指標

設備配置の研究は1960年代より多くの技術者や研究者により行われている[3]。木やバス形状設備の配置に関するさまざまな研究が行われている[4]。

筆者らは、これらの結果を利用することで、効率的な通信ネットワークを構築したい。一般的な評価指標の一つに距離和があるが、これはネットワーク

The practical evaluation function,  $r$ -pair distance sum, for the high-speed network facility on parallel and distributed computer systems, Takayoshi Touyama †, Atsuo Takahashi † and Susumu Horiguchi ††, †Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Nippon Institute of Technology, ††Graduate School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology, Email: touyama, takahasi@nit.ac.jp,

の各点から設備までの平均通信レイテンシを表すため、高速通信路設備の評価指標として十分でない。

全対距離和<sup>[5]</sup>は、全ての二点間距離の総和である。但し、二点と設備との距離の和が二点間の距離より小さい場合、後者でなく前者を用いる。設備内の通信が十分高速な場合、全対距離和最小の設備は、同サイズの設備のうちで二点間の平均通信レイテンシが最小となるので、高速通信路設備として適当である。しかし、実際の通信ネットワークでは、多対多通信が行われる。全対距離和は、このときの通信レイテンシ増加を考慮できない。

そこで本稿では、 $n$ プロセッサによる並列計算でよく見られる、 $r$ プロセッサによる細粒度並列処理の $(n/r)$ 並列実行を重視し、新たな指標として $r$ 対距離和を提案する。

#### 4. $r$ 対距離和

$r$ 対距離和は、 $r$ 点の全対距離和の、全ての $r$ -組についての総和とする。すなわち、以下の式で表す。

$$P_r(F) = \sum_{V^r \subset G, |V^r|=r} M(V^r, F),$$

$$M(V^r, F) = \sum_{u, v \in V^r} \sum_{e \in P(u, v), e \in E(F)} f(C(V^r, e), l(e)), \quad (1)$$

$$C(V^r, e) = |\{P(u, v) | u, v \in V^r, e \in P(u, v)\}|.$$

但し、 $G$ はネットワーク、 $P(u, v)$ は $u, v$ 間のパス、 $l(e)$ は辺 $e$ の長さである。 $f$ は辺 $e$ の通信量と長さを引数とする通信コスト関数であり、通信量と長さに対し単調増加するものとする。 $C(V^r, e)$ は $r$ 個の点 $V^r$ の二点間のパスのうち辺 $e$ を通るものの数、 $M(V^r, F)$ は $V^r$ における設備 $F$ の全対距離和である。 $r$ 対距離和最小の設備は、同サイズの設備のうちで、適当に $r$ 個の点を取った場合の $r$ 点間の平均通信レイテンシを最小にする。なお、 $r$ が2で $f(c, l) = l$ の場合、 $P_r$ は全対距離和となる。

$G$ が木構造の場合、 $P_r(F)$ は次式で表せる。

$$P_r(F) = \sum_{e \in E(G)} \sum_{E(F)} \sum_{i=1}^{r-1} \{m(e) C_i^{(n-m(e))} C_{(r-i)}^{(i(r-i) f(i(r-i), l(e)))}\}. \quad (2)$$

但し、 $m(e)$ は辺 $e$ を含まない最大の部分木のノード

数である。

#### 5. $r$ 対距離和による最適設備

木構造ネットワークにおいては、式(2)などにより、 $r$ 対距離和を用いた木形状設備は従来の評価指標による木形状設備に対して以下の関係がある。

- 1) ネットワークの各辺の長さが等しい場合  
 $r$ 対距離和、全対距離和、距離和最小設備は同じ。
- 2) ネットワークの各辺の長さが任意の場合  
(1) 2対距離和、3対距離和、全対距離和最小の設備は同じ。(距離和最小の設備とは同じではない)  
[5] (2)  $f(c, l) = l$ の場合、 $r$ 対距離和と全対距離和最小の設備は同じ。(3) その他の場合、 $r$  ( $r > 3$ ) 対距離和最小の設備と全対距離和最小の設備は同じではない。

すなわち、各辺の長さが任意で、通信トラフィックによるレイテンシ増加があり、 $r$ が4以上の場合に、 $r$ 対距離和は有効と考えられる。

#### 6. 設備配置アプリケーションの開発

木構造ネットワークに対して $r$ 対距離和が最小となる木形状やパス形状設備を求めるアプリケーションを開発した。これはMS Windows上で動作する。

#### 7. まとめ

高速通信路の実用的な評価指標として、全対距離和を一般化した $r$ 対距離和を提案した。そして、従来の評価指標である距離和や全対距離和との比較検討を行った。また、 $r$ 対距離和による設備配置を行うアプリケーションを開発した。

**謝辞** 本研究の一部は笹川科学研究助成を用いて行われた。関係各位に感謝する。

#### 参考文献

- [1] 高橋義造編, “並列処理機構”, 丸善, 1989
- [2] 當山, 高橋, 堀口, “超並列・分散計算機ネットワークに適した端接設備の配置”, 信学会総合大会, D-6-11, 1999.
- [3] M. Daskin, “Network and Discrete Location”, John Wiley & Sons, 1995.
- [4] A. Mesa et al., “A Review of Extensive Facility Location in Networks”, EJOR, 95, pp.592-603, 1996.
- [5] 當山, 高橋, 堀口, “設備配置による超並列・分散計算機ネットワーク構築手法の検討”, 情処学会第57回全国大会, 4G-07, 1998.