



Title	Topology Design and Capacity Planning for Evolvable Information Networks Using Mutual Information
Author(s)	謹, 璐
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/55859">https://hdl.handle.net/11094/55859</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 諱 略 )	
論文題名	Topology Design and Capacity Planning for Evolvable Information Networks Using Mutual Information (相互情報量を用いた進化可能な情報ネットワークのためのトポロジー と回線容量の設計)
<p>論文内容の要旨</p> <p>As the Internet becomes a social infrastructure, it is important to design the Internet that has adaptability against environmental changes. However, operators of ISP networks usually add link capacity and routers in an ad-hoc way. That is, they enhance link capacity when link utilization exceeds a certain threshold, and they introduce new routers when existing routers become unable to accommodate traffic on enhanced links. Such an ad-hoc approach will not be useful when traffic volume is changing drastically and unpredictably. That is, when the nodes/links are added in an ad-hoc manner, those would not help accommodate another traffic increase or possibly taking place in the future. Even worse, those newly added nodes/links would be useless when the traffic is decreased around those equipment. Therefore, a new network design method which has a capability to adapt various kinds of environmental changes with less amount of equipment is necessary.</p> <p>In this thesis, we propose a new network design method that is adaptive to dynamic environmental changes including traffic changes and node failures. Unlike a traditional design approach, our design approach tries to reduce a degree of specialization. That is, we do not simply increase network resources when facility expansion is found to be necessary. Instead, we try to increase adaptability against future possible traffic changes as much as possible. In doing so, two problems arise for developing the new design method: how to quantify "a degree of specialization" and how to minimize or reduce "a degree of specialization."</p> <p>We first introduce a mutual information to quantify the degree of specialization in a topological sense. Specifically, we define the topological diversity by the mutual information between degrees of two nodes that are connected by the direct link. We compare the mutual information for various topologies including router-level topologies and biological networks, and find that the mutual information of router-level topologies is higher than that of biological networks. The reason of high mutual information in the router-level topologies can be explained as follows. Since router-level topologies are designed under the physical and technological constraints such as the number of switching ports and/or maximum switching capacity of routers, there are some restrictions to construct the topology. Such the constraints lead to high correlation in degrees of two connected nodes. Further, and more importantly, progress of facility expansion leads to higher mutual information due to the specialization taken by environmental changes. It is often pointed out that the diversity is a source of keeping evolution in the biological networks. In our study, the diversity is quantified by the mutual information, and we can say that the router-level topologies are less diverse when compared with the biological networks. Actually, the network with low mutual information has a potential to evolve in various environments, that is, to be adaptive against the traffic changes and/or node failures.</p> <p>We then propose a network design approach to enhance topological diversity by which the network can be easily adapted to deal with new environments without requiring a lot of additional equipment. Essentially, in our approach, a new node is connected to existing nodes to minimize the mutual information of the topology. We then evaluate the total cost, which is defined by the total amount of equipment, needed for accommodating traffic in two cases; in an ordinary situation where the traffic is increased gradually, and in the situation where a node failure takes place. Our results show that a thousand-node network evolved by our design approach reduces the total cost of the equipment by 15% comparing to a thousand-node network evolved by an ad-hoc design method.</p> <p>Finally, we consider the diversity of link capacity in addition to the topological diversity. For that purpose, we extend the definition of mutual information by considering load of the link and the available capacity after a failure of the link. Then, a network with low mutual information is obtained by repeatedly exchanging a small amount of capacity between links. Although the diversity of available capacity does not contribute for the case of single link failure, we expect the additional capacity will work for severe environmental changes and expect that less capacity is required as in the case of topological diversity. Using a 15-node topology with 28 links, we examine the effectiveness of the capacity planning with low mutual information. Our results show that the total amount of capacity is decreased when two or more links are failed simultaneously and is decreased by 20% at a seven-link failure.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 謹 瑠 )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	村田 正幸
	副 査	教授	渡辺 尚
	副 査	教授	長谷川 亨
	副 査	教授	東野 輝夫
	副 査	教授	松岡 茂登

## 論文審査の結果の要旨

現在のインターネットサービスプロバイダーがネットワークを運用する現場では、回線容量やルータの処理能力が逼迫した箇所を増強するといったアドホックな設計が行われている。しかし、さらなる環境変動、すなわちトラヒック需要の増加速度の増大や増加パターンの変動が予想される将来においても、このように設計しては、必要以上に多くの設備を投下することになりかねない。従来、このような問題に対しては、いわゆるネットワーク設計理論という研究領域があった。多くの研究では、現時点におけるネットワーク・トポロジーやトラヒック量を既知とし、なんらかの指標、例えば、エンド間パケット遅延などを指標とした最適化問題として定式化され、その厳密解を求める、あるいは問題の規模が大きくなった場合にはヒューリスティックな解法が考案され、それが研究成果となっていた。しかし、現実には、トラヒック変動が発生するのはもはや当然で、それがどこで発生するか予測困難である。例えば、新しいサービスが立ち上がり、それが人気を得ると、その近辺のトラヒック量が急速に増大する、また、逆に新たなサービスへの移行によって従来のサービスが使われなくなりトラヒック量も減少するといった事象の発生が常態化しつつある。そのため、これら予測困難なトラヒック変動にも耐性を有する新たな設計手法の考案が不可欠となっている。生物システムが環境変動に適応的であることはよく知られている。生命分野では、特定の環境で進化したシステムは、その環境に特化されているために新たな環境に適応しづらいが、環境に特化されないシステムは、新たな環境に適応しやすいことが古くから言われている。そして、近年の研究では、特定の環境にシステムが適応する過程でシステムの構成要素間に関係が多様性が生じることに着目して、多様性の度合いを測る相互情報量指標を導入して、進化について議論した文献が注目されている。具体的には、環境変動に対する高い適応性を有するシステムの特徴を、相互情報量を指標として明らかにしている。

本論文では、トラヒックの増加・変動やノード故障を含む環境変化に適応可能なネットワークの設計を目的とし、多様性を有するネットワークの設計手法を提案している。具体的には、まず相互情報量を用いてネットワークの多様性を定量化し、相互情報量を最小化することで構造の多様性を高めるネットワークの設計手法を提案している。また、相互情報量の指標を拡張することによって回線容量割当の多様性を定量化し、多様性を高めた回線容量割当の効果を示している。

本論文の研究成果は、ネットワークのトポロジー構造の多様性を示す指標として、相互情報量指標が有用であることを示したことに始まり、相互情報量の最小化に基づくネットワーク設計手法によって、トラヒックの増加・変動やノード故障を含む環境変化に適応できるネットワークが構築されることを示した点、さらには回線容量割り当ての多様性を高めた回線容量設計の効果を明らかにした点である。

以上のように本論文はトラヒックの増加・変動やノード故障を含む環境変動に適応できるネットワークの設計手法を確立するためのネットワークの設計に関して有用な研究成果をあげている。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。