

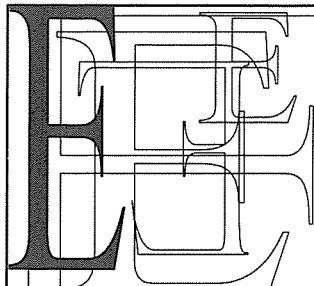


Title	マルチプロセッサシステムの信頼性
Author(s)	土屋, 達弘; 菊野, 亨
Citation	電子情報通信学会誌. 2002, 85(6), p. 427-429
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/51057
rights	copyright©2002 Institute of Electronics, Information and Communication Engineers
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka



Educational Course
教養のページ

マルチプロセッサシステムの信頼性

土屋 達弘 菊野 亨

土屋達弘 正員 大阪大学大学院情報科学研究科
E-mail t-tutiya@ist.osaka-u.ac.jp
菊野 亨 正員 大阪大学大学院情報科学研究科
E-mail kikuno@ist.osaka-u.ac.jp

On the Dependability^(用語) of Multiprocessor Systems. By Tatsuhiro TSUCHIYA and Tohru KIKUNO, Members (Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Toyonaka-shi, 560-8531 Japan).

高性能なワークステーションが安価に提供されるようになって、多数のワークステーションを高速なネットワークで結合したワークステーションクラスタが広く普及している。並列度を高めることでスーパーコンピュータに匹敵する性能を持つクラスタも多く開発されてきている。実際、2000年のLinpackベンチマークに基づく高性能システムのランキングでも、上位100位のシステムの1割はワークステーションクラスタが占めるに至っている⁽¹⁾。

このように従来は高価で特殊な存在であった並列度の高いマルチプロセッサシステムが非常に身近なものになってきた。しかしその一方で、規模が大きくなるということは、その分だけシステムが故障に対し弱い弱になっているのではないかという恐れもある。

処理中に1台でもワークステーションが故障した場合、マルチプロセッサシステムは障害状態に陥るものと仮定して、システムの信頼性が実用に耐え得るものか計

算してみる。信頼性の尺度として平均故障時間(MTTF)を考える。ワークステーションの台数を n 台とすると、システムの平均故障時間は、ワークステーション1台の平均故障時間の n 分の1になる。例えば、ワークステーションの平均故障時間が5年、 $n=100$ ならば、システムの平均故障時間は18日程度になってしまう。

この計算をもう少し理論立てて説明する。時刻0で正常な構成要素が時刻 t までに故障しない確率をリライアビリティと呼び、 $R(t)$ で表す。平均故障時間は指数分布に従うと仮定してよいことが広く受け入れられている。この仮定に基づく、 λ を定数として

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

が成り立ち、平均故障時間は t の係数の逆数、すなわち $1/\lambda$ に等しくなる(この λ は故障率と呼ばれる)。ワークステーション1台のリライアビリティが $R(t)$ とすれば、クラスタシステムのリライアビリティは

$$R(t)^n = e^{-n\lambda t}$$

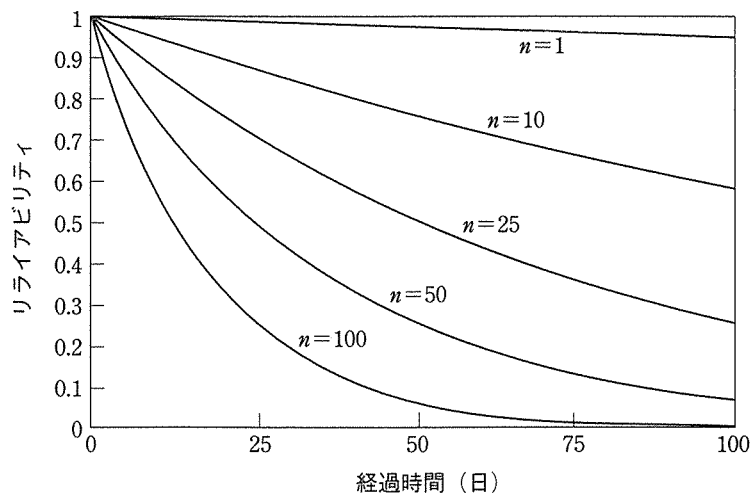


図1 リライアビリティ(障害が起きていない確率)の変化 プロセッサの台数 n が大きくなると、急速に低下する。

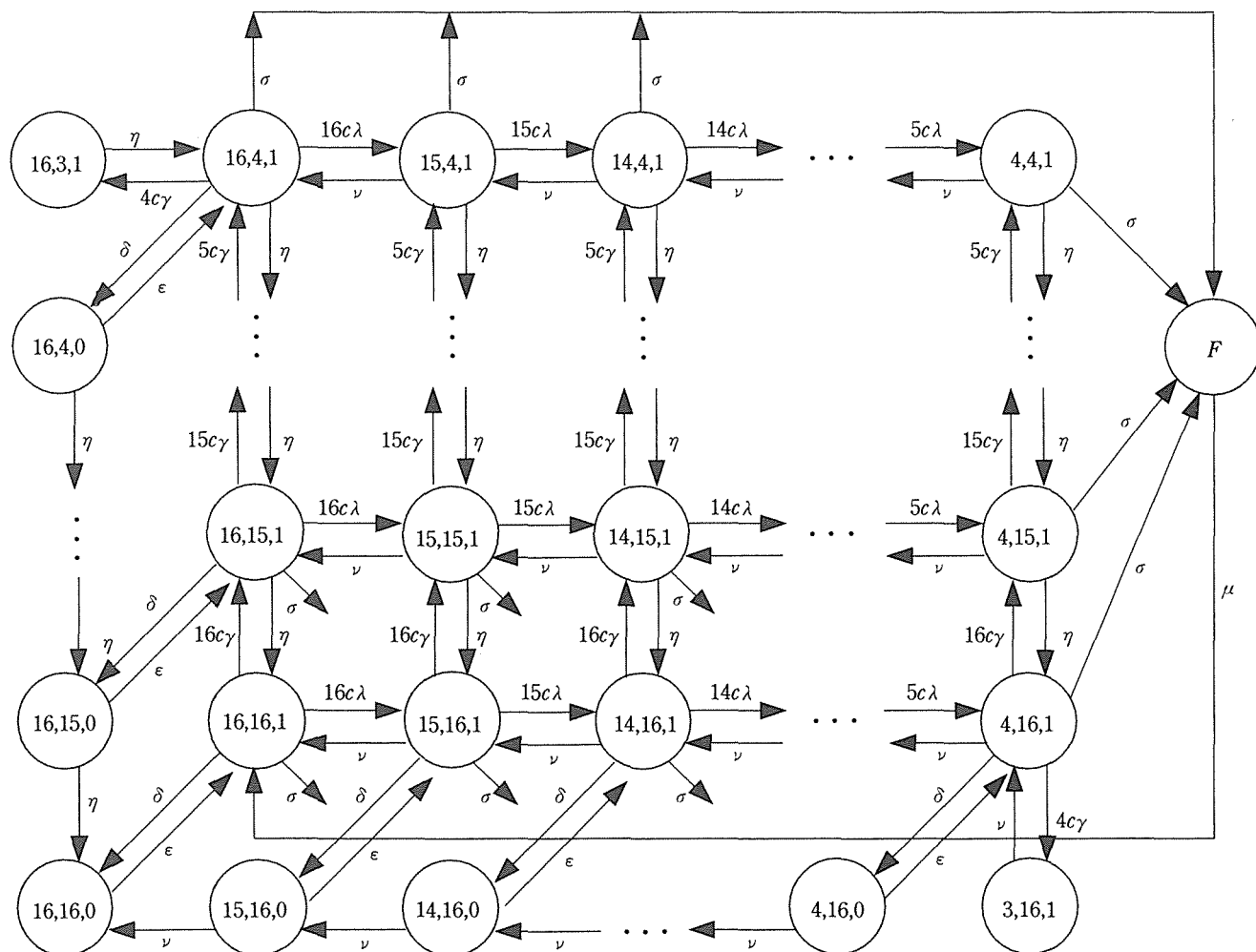


図2 マルコフモデル 状態 (i, j, k) は正常なプロセッサ, メモリ, ネットワークがそれぞれ i, j, k 台であることを, 状態 F はシステムが障害状態であることを表している. 矢印に付加されている値は, 対応する状態遷移が起る頻度 (遷移率) を示している.

となり, その平均故障時間は $1/n\lambda$, すなわち, ワークステーション 1 台の平均故障時間の n 分の 1 となることが分かる.

更にこの式から任意の時刻におけるシステムのリライアビリティが計算できる. 例えば, 100 台のワークステーションを使用して, 処理に 5 日を必要とする仕事が無事に完了できる確率を計算してみる. この場合 $n=100$, $1/\lambda=5$ 年, $t=5$ 日から 0.76 という値が得られる. 図 1 は様々な n の値についてリライアビリティの時間的な変化をグラフ化したものである. このように特に並列度の高いマルチプロセッサシステムでは, 信頼性の低下が無視できないことが見て取れる.

用語解説

Dependability 広い意味での信頼性. リライアビリティ (reliability) が厳密な尺度であるのとは異なり, 信頼性に関連する諸要素を包括するような広い概念を指す.

もちろん, 故障が発生しても性能が低下するだけで, システム全体としては正常に動作し続けることができる場合も多い. このような場合にシステムの信頼性を評価するには, 正常か故障かといった単純な区別だけでなく, 故障による性能低下を考慮に入れた尺度が必要になってくる.

そのような尺度として計算アベイラビリティ⁽²⁾やパフォーマンス⁽³⁾と呼ばれるものがこれまでに提案されている. 例えば, 2 台のプロセッサからなるシステムがあり, どちらか片方のプロセッサが故障している確率を 9%, 両者とも故障している確率を 1% とする. 計算能力が正常なプロセッサの台数に比例すると仮定すると, この場合の計算アベイラビリティは

$$0.90 \times 2 + 0.09 \times 1 + 0.01 \times 0 = 1.89$$

となる.

また, パフォーマンス (performability) は計算アベイラビリティの概念を更に一般化したものである⁽⁵⁾. なお, この語は性能 (performance) とリライア

ビリティ(reliability)を組み合わせた造語である。

さてここまでは、故障する要素としてプロセッサのみを考えてきた。しかし、実際のマルチプロセッサシステムではネットワークの故障もあり得るし、記憶装置等を別の要素として扱う必要がある場合もある。様々な種類の構成要素の故障、修復を考慮したとき、上記のような単純な計算で信頼性を予測することはできない。

そのような場合に用いられるのがマルコフモデルである。マルコフモデルは、各構成要素の故障、修復に伴うシステムの状態の変化を確率過程の一種であるマルコフ過程としてモデル化したものである。対象となるシステムのモデルを作り、それを解析することによって上記の尺度の値が計算できる。マルコフ過程は計算機システムの評価に限らず、オペレーションズリサーチの分野でも広く応用されており、その解析技術が信頼性評価にも利用できる。

文献(4)から引用したマルチプロセッサシステムに対するマルコフモデルの典型的な例を図2に示す。ここでは16台のプロセッサと16台のメモリユニット、更にそれらを接続するネットワークからなるシステムを考えている。図中の円はシステムの状態を表しており、 (i, j, k) は正常なプロセッサ、メモリ、ネットワークの個数がそれぞれ i, j, k という状態に対応している。状態間の矢印は、故障もしくは修復によるシステム構成の変化を表現している。このようなモデルを構成することで、様々な信頼性に関する尺度の評価が可能となる。

現在では信頼性評価ソフトウェアも数多く開発されており⁽⁵⁾、信頼性評価手法は確立した感がある。しかし、その評価の前提となる構成要素の信頼性に関する実データは余り得られていない。また、実際にはマルチプロセッサの構成要素の故障は独立に発生するとは限らず、共通の原因によって複数の要素が故障する場合もある。この

ような故障の発生のメカニズムに関する調査結果についても、幾つかの例外を除くと公表されているものは少なく⁽⁶⁾、今後の研究が待たれる。

文 献

- (1) H.W. Meuer, E. Strohmaier, J.J. Dongarra, and H.D. Simon, "TOP500 supercomputer sites," 16th International Supercomputing Conference, June 2001.
- (2) M.D. Beaudry, "Performance-related reliability measures for computing systems," IEEE Trans. Comput., vol.27, no.6, pp.540-547, June 1979.
- (3) J.F. Meyer, "On evaluating the performability of degradable computing systems," IEEE Trans. Comput., vol.29, no.8, pp.720-731, Aug. 1980.
- (4) R.M. Smith, K.S. Trivedi, and A.V. Ramesh, "Performability analysis: Measures, an algorithm, and a case study," IEEE Trans. Comput., vol.37, no.4, pp.406-417, April 1988.
- (5) A.T. Tai, H. Hecht, K.S. Trivedi, and B. Zhang, "Toward accessibility enhancement of dependability modeling techniques and tools," Proc. 27th International Symposium on Fault-Tolerant Computing, pp.37-41, June 1997.
- (6) D. Tang and R. K. Iyer, "Analysis and modeling of correlated failures in multicomputer systems," IEEE Trans. Comput., vol.41, no.5, pp.567-577, May 1992.



つちや たつひろ
土屋 達弘 (正員)

平5 阪大・基礎工・情報退学。平7 同大学院博士前期課程了。平8 同大学院博士後期課程退学。同年同大学助手。平12 同大学講師。平14 同大学助教授。主に並列・分散システムの信頼性評価、自動検証に関する研究に従事。工博。



きくの とう
菊野 亨 (正員)

昭45 阪大・基礎工・制御卒。昭50 同大学院博士課程了。同年広島大・工・講師。同大学助教授を経て昭62 阪大・基礎工・情報助教授。平2 同大学教授。主にフォールトトレラントシステム、ソフトウェア開発プロセスに関する研究に従事。工博。平4 年度論文賞受賞。