

高信頼メッセージ転送ネットワークの形式的モデリング

Formal modeling of the high reliance message transmission network in mobile environment

大西 量† 三田村 保† 大堀 隆文† 栗原正仁‡
 Ryo Onishi Tamotsu Mitamura Takahumi Oohori Masahito Kurihara

1. はじめに

各々のユーザのホストが変動するモバイル環境において、透過的にメッセージを送信する方法の一つとして、移動直前までのホストが移動先のホストにメッセージを転送する方法がある[1]。本稿では、異常状態にあるホストの個数が予め想定された範囲内に収まれば、迂回する通信パスの存在を保証できる高信頼メッセージ転送ネットワークを定義し、その基本的な特徴を示し、その動的生成法について述べる。

2. 透過的なメッセージ通信

通信相手がホストを移動していくモバイル環境において、通信相手の移動を意識せずに通信する、いわゆる位置透過性を有する通信の実現方法の一つとして、移動前のホストに移動先を通知し、送信元はそのホストにメッセージを送信し、ホストがメッセージを受け取って本来の通信相手が存在するホストに転送する方法がある。

しかし、この方法では移動してきたホストを順に辿るため、そのホスト間でどこか 1 か所でも通信不能なホストがあるとメッセージは相手に届かないことになる(Fig. 2.1)。

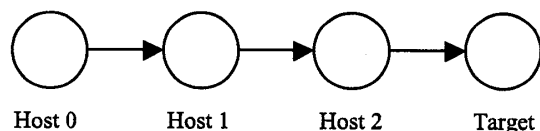


Fig. 2.1 メッセージを転送するための単純なネットワーク

3. メッセージ転送ネットワークとその性質

本節では、前節で述べた問題点を単純な方法で解決する、メッセージ転送ネットワークの設計について述べる。このネットワークは、通信相手を 1 つと特定し、通信不能なホストの数を n とおく。

[定義 1] n 次メッセージ転送ネットワークは有限で単純な無閉路有向グラフ $G = (V, E)$ であり、以下の条件を 3 つすべて満たすものとする。このとき、 V に属する頂点をホスト、 E に属する有向辺をリンクと呼ぶ。グラフ理論の定義により、単純なグラフは平行辺を持たず、無閉路グラフは閉路を持たない。

† 北海道工業大学

‡ 北海道大学

条件 1. 外向きのリンクを持たないホストが、ただ一つ存在する。このホストをターゲット、その他をプロキシと呼ぶ。

条件 2. 外向きのリンクの数が k 個であるプロキシを k 次プロキシと呼ぶ。 $k \leq n$ ならばそれを特殊プロキシ、 $k > n$ ならば正規プロキシと呼ぶ。

条件 3. すべての特殊プロキシは、ターゲットを終点とするリンクを持つ。

例を Fig. 3.1 に示す。 $n = 2$ でかつターゲットが新しいホストに 4 回移動したときのグラフである。

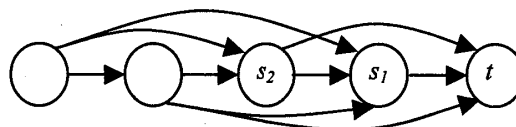


Fig. 3.1 2次プロキシネットワーク

このようなメッセージ転送ネットワークにおいて、次のような信頼性、ロバスト性を示すことができる。

[定理 1] 互いに異なる任意のプロキシ v と n 個のプロキシ w_1, \dots, w_n について、どの w_1, \dots, w_n も通らない v からターゲットまでの経路が存在する。

4. メッセージ転送ネットワークの動的生成

次に、本節では通信相手がホストを移動したときのメッセージ転送ネットワークの動的変化を形式的に表現する。

ターゲット t をもつ n 次メッセージ転送ネットワーク $G = (V, E)$ において、 s_k を k 次の特殊プロキシ、現在ネットワーク中に存在する特殊プロキシの数を i とするとき、メッセージ転送ネットワーク書き換え系は定義 2 で与えられる書き換え規則の集合として定義される。 G に書き換え規則を 1 回適用して得られるネットワークを G' とするとき、 $G \rightarrow G'$ と表現する。記号 $+$ は互いに素な集合の和を表し、 $A + B$ は集合 A と B が共通の要素を持たないことを暗黙的に示す。また、記号 \setminus は集合の差を表す。つまり、 $A \setminus B = A \cap \bar{B}$ である。

[定義 2] メッセージ転送ネットワーク書き換え系は次の 4 つの書き換え規則からなる。最初の規則は発展を、残りの規則は修復を意味する。

(1) 新しいホストへの移動

$$(V, E) \rightarrow (V + \{u\}, E + \{(t, u)\} + \{(s_1, u), (s_2, u), \dots, (s_i, u)\})$$

u は移動先の新しいターゲット、 $\{(s_1, u), (s_2, u), \dots, (s_i, u)\}$ はすべての特殊プロキシとホスト u とのリンクの集合である。移動前のすべての特殊プロキシおよびターゲットは新ターゲット u に対してそれぞれ 1 本のリンクを張る。旧ターゲット t は新ネットワークでは 1 次の特殊プロキシとなり、旧ネットワークにおける特殊プロキシもそれぞれ次数が 1 つ多くなる。

(2) 特殊プロキシへの移動

$$(V, E) \rightarrow (V, E \setminus \{(s_k, s_1), (s_k, s_2), \dots, (s_k, s_{k-1})\} + \{(s_k, t)\}) + \{(s_1, s_k), (s_2, s_k), \dots, (s_{k-1}, s_k)\} + \{(t, s_k)\})$$

この規則は、ターゲットが特殊プロキシ s_k に移動したとき適用される。 $\{(s_k, s_1), (s_k, s_2), \dots, (s_k, s_{k-1})\}$ は s_k と k より次数の少ないすべての特殊プロキシとのリンクの集合、 $\{(s_1, s_k), (s_2, s_k), \dots, (s_{k-1}, s_k)\}$ はその逆のリンクの集合を表す。新しいネットワークは、特殊プロキシ s_k から出ているすべてのリンクを逆にすることによって生成され、旧ターゲット t は新ネットワークの 1 次の特殊プロキシとなる。

(3) 正規プロキシへの移動

$$(V, E) \rightarrow (V, E \setminus \{(u, x_1), (u, x_2), \dots, (u, x_j)\}) + \{(t, u)\} + \{(s_1, u), (s_2, u), \dots, (s_i, u)\})$$

ただし $u \in V \setminus \{t, s_1, s_2, \dots, s_i\}$ であり、 u は移動先の正規プロキシである。 $\{(u, x_1), (u, x_2), \dots, (u, x_j)\}$ は旧ネットワークにおける u から出ているすべてのリンクの集合を示す。また、 $\{(s_1, u), (s_2, u), \dots, (s_i, u)\}$ は旧ネットワークにおけるすべての特殊プロキシから u へのリンクの集合である。新ネットワークは正規プロキシ u から出ている j 本のリンクを削除し、 u はターゲットとなる。

(4) バイパス

$$(V, E) \rightarrow (V, E \setminus \{(u, v)\}) + \{(u, w)\}$$

ただし $v \neq w$ であり、 w が v から到達可能な場合に限られる。表記上の約束から、 $(u, w) \notin E$ であることに注意。この規則により、リンク (u, v) は (u, w) により置換される。この規則はネットワークの効率向上に有効である。なぜならリンクを局所的に変更してターゲットへの短いパスを作ることができるからである。

例として、Fig. 3.1 の状態から新しいホストへ移動したときのネットワークを Fig. 4.1 に示し、同様に、特殊プロキシ s_2 に移動した時のネットワークを Fig. 4.2、正規プロキシ u に移動した時のネットワークを Fig. 4.3 に示す。また、バイパスの例を Fig. 4.4 に示す。

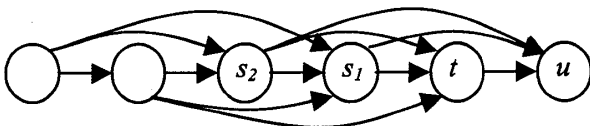


Fig. 4.1 新しいホストへの移動

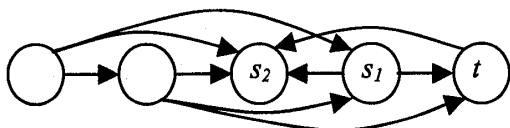


Fig. 4.2 特殊プロキシ s_2 への移動

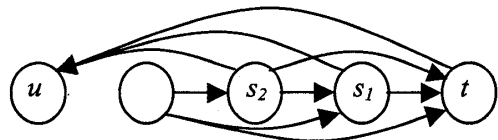


Fig. 4.3 正規プロキシ u への移動

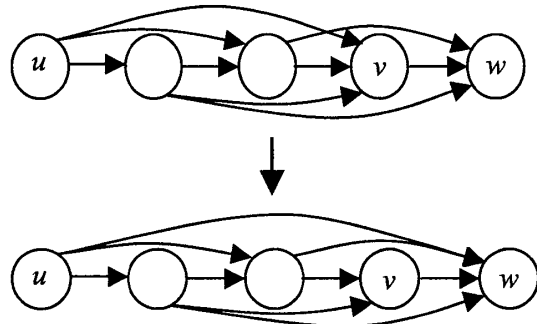


Fig. 4.4 バイパス

ところで、ターゲットが移動をしない限り、メッセージ転送ネットワークは形成されない。ターゲットが移動して初めて初期メッセージネットワーク $G_0 = (V_0, E_0)$ が形成される。ただし $V_0 = \{s, t\}$ は移動先のターゲット t と移動元ホストである特殊プロキシ s から成り、 $E_0 = \{(s, t)\}$ は s から t に接続するリンクから成る。



Fig. 4.5 初期プロキシネットワーク G_0

グラフ書き換えの列 $G_0 \rightarrow G_1 \rightarrow G_2 \rightarrow \dots \rightarrow G_n = G$ ($n \geq 0$) が存在するとき、 $G_0 \rightarrow *G$ と表記する。これは初期メッセージ転送ネットワーク G_0 に 0 回以上の書き換え規則を適用したことでグラフ G が得られる事を意味する。グラフがこの系で書き換えられ続ける限り、定義 1 のメッセージ転送ネットワークの条件は常に維持され、以下のように書き換え系の健全性が保証される。

[定理 2] $G_0 \rightarrow *G$ ならば、 G はプロキシネットワークである。

5. おわりに

本稿では、モバイル環境におけるメッセージ転送ネットワークを示し、その静的構造における高信頼性を示し、さらにその構造を維持するメッセージ転送ネットワーク書き換え系を形式化し、健全性を示した。

参考文献

[1] A. Shibuta, M. Kurihara, Mobile agent systems with agent-based user-modifiability and their application to location transparency, Proc. 2nd Joint Intern. Workshop of ORSJ and ASOR, pp.270-276 (2000).
 [2] Appleby, S. and Steward, S. Mobile Software Agents for Control in Telecommunication Networks. In A.L.G. Hayzelden and J. Bigham (eds), Software Agents for Future Communication Systems. Springer-Verlag (1999).