

確率的ルーティング (probabilistic routing, あるいは epidemic routing, gossiping と呼ばれる) に代わる通信アルゴリズムとしてネットワーク符号 (network coding) を用いる。ネットワーク符号は情報理論の比較的新しい領域である。

中継ノードは、パケットを単に転送するのではなく、これまでに受信した情報の線形組み合わせ (linear combination) にもとづく複数のパケットを送信する。

つまり中継ノードは $\sum_i g_i x_i$ を送る。ここで x_i は受信したパケットまたは送りたいパケット、 g_i は係数。ノードが m 通りのパケットを n 個うけとったとして、 $m = n$ であれば 1 に近い確率で復号化できる。ただし g_i が独立した確率変数である場合。

Section 3.1: ネットワーク符号のモデル。ネットワーク内のノード V 、始点ノード群 S 、始点ノードの数 m 、 i 番目の始点ノードが送る情報 x_i 、パケット長 M 。

ノード v 、復号化行列 G_v 。これをもとに、ノード $v \in V$ は時刻 t に符号化ベクトル $g_v(t)$ と情報ベクトル $y_v(t)$ の対を送る。

$$(g_v(t), y_v(t)) = r_v(t)G_v(t)$$

ここで $r_v(t)$ は長さ m の random vector。これを受信したノード v' は $G_{v'}$ に $(g_v(t), y_v(t))$ を挿入する。受信したパケットが行列のランクを増やす場合、これを innovative packet と呼ぶ。

Section 3.2: パケットを送るタイミング。

innovative packet を受信した場合、 $[d]$ 個のベクタを生成し近隣にブロードキャストする。ここで $d > 0$ は forwarding factor。

Section 3.3: 世代管理。

送り手が複数のパケットを送りたい場合への拡張。大きな行列での符号化・復号化は実用的ではないので、世代の概念を導入する。文献 [2] のように単調増加する世代番号を使うと、wireless ad-hoc network でうまく動かない。

このため Generation Hashing を提案。送信者アドレスとパケット識別子のハッシュをとったもの。

Section 3.4: 情報のエージング。受信が完了し、要らなくなった情報を捨てる。ただし近隣のノードが必要とする可能性があるので、保持する行列のランクを減らしていく。

Section 4: シミュレーション。独自のシミュレータを利用してネットワーク符号と確率的ルーティングの性能を解析。図 1: forwarding factor を変えた場合のパケット配達率。ネットワーク符号のほうが優れていることがわかる。図 2: 転送オーバーヘッド (左), end-to-end delay (右)。forwarding factor が大きくなったとき、ネットワーク符号だと遅延が悪化しない。

IDEON consideration: 人と人をつなぐオーバーレイは間欠接続を前提とすべき。そのような状況でネットワーク符号は確率的ルーティングに代わる、より効率的な情報伝播アルゴリズムとなりうる。ただし誤り訂正能力については精査の余地あり。また挿入攻撃、Sybil attack に対しても弱い。したがって鍵配送インフラとしては、このままでは不適切。