

ネットワーク設計と性能解析

1 ネットワーク設計の基本

性能とコストのバランス

- 資源増加の利点: 待ち時間やデータ損失の減少。
- 資源増加の欠点: コストの増加。
- 資源減少の利点: コスト削減。
- 資源減少の欠点: 待ち時間やデータ損失の増加。

経済性を維持しつつ、通信品質を一定に保つことが求められる。

トラフィック変動への対応

- トラフィック量が資源量を超えると輻輳（混雑）発生。
- 資源量がトラフィック量を超えると輻輳回避。
- 長期的に輻輳が継続しないよう設計する必要がある。

2 待ち行列理論

目的

トラフィック量とネットワーク資源の関係から、システムの性能を定量的に評価する。

モデル化要素

- 到着分布: パケットが到着する確率分布（例: ポアソン分布）。
- サービス時間分布: 各パケットが処理される時間。
- サーバ数: パケットを処理する窓口数。
- バッファサイズ: 待ち行列の最大長。

3 ポアソン分布

特性

- 独立かつランダムな事象の発生を表す分布。
- 例: 単位時間あたりの呼（ネットワーク接続要求）の発生数。

条件

- 定常性: 発生率は時間に依存しない。
- 独立性: 発生する事象は互いに独立。
- 希少性: 微小時間内に複数の事象が発生する確率は無視できる。

確率式

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}$$

- $P_k(t)$: 時間 t に k 回発生する確率。
- λ : 呼の発生率。

4 スループット解析

スループット (S)

- 単位時間あたりの成功伝送データ量。
- 物理伝送速度で正規化され、 $0 \leq S \leq 1$ 。
- トラヒック量 G とスループット S の関係で評価。

純アロハ方式の解析

- 衝突と再送: 衝突発生時にランダム時間後に再送。
- スループット公式:

$$S = Ge^{-2G}$$

- 最大スループット:

$$S_{\max} = \frac{1}{2e} \approx 0.184 \quad (G = 0.5)$$

スロット化アロハ方式

- 同期送信: スロット時間に合わせて送信。
- スループット公式:

$$S = Ge^{-G}$$

- 最大スループット:

$$S_{\max} = \frac{1}{e} \approx 0.368 \quad (G = 1.0)$$

5 CSMA 方式の解析

nonpersistent CSMA

- キャリアセンス（通信路確認）後、空いていれば即送信。
- 使用中の場合、ランダム時間待機後に再試行。

スループットの特性

- 正規化伝搬遅延時間:

$$a = \frac{\tau}{T}$$

- 衝突が減少し、スループットが向上。

スループット公式

$$S = \frac{Ge^{-mG}}{G(1 + 2a) + e^{-mG}}$$

6 スループット特性の比較

アクセス方式	最大スループット
純アロハ方式	0.184
スロット化アロハ方式	0.368
1-persistent CSMA	0.529
nonpersistent CSMA	0.815
p-persistent CSMA ($p = 0.03$)	0.827

表 1 スループット特性の比較

7 平均伝送遅延時間の解析

純アロハ方式

$$D = T + 2\tau + \left(\frac{1}{S} - 1\right) \cdot (T + B)$$

- D : 平均伝送遅延時間。
- T : 伝送時間。
- τ : 伝搬遅延時間。
- B : 平均バックオフ時間。