

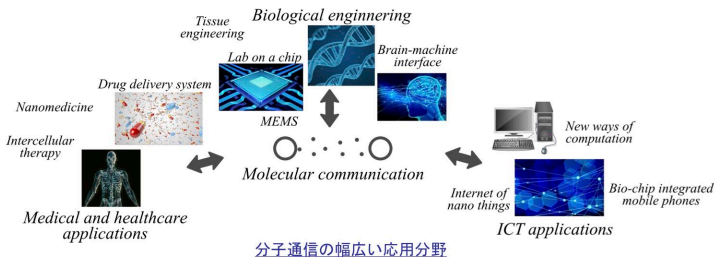
拡散型分子通信における最尤チャネルパラメータ推定に関する一検討

名古屋工業大学 大学院工学研究科 電気・機械工学専攻
長谷川 翔馬 安在 大祐 王 建青

研究背景

分子通信とは

- 分子通信 (Molecular Communication) とは電磁波を用いた既存の通信技術とは異なり、タンパク質などの**生体分子**を用いて情報を伝達する通信技術
- 人体細胞を含む微生物同士での基本的な通信手段
- 生物学、化学、通信工学など幅広い**学術分野**にまたがる研究分野
- 生体分子を用いるため**生体親和性**がある

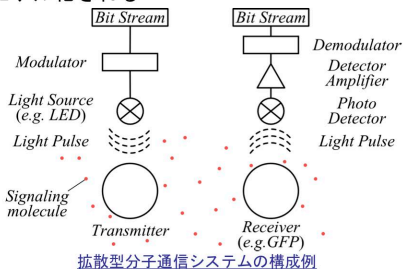


バイオナノマシン間の通信手段

- 数nmから数μm程度の生体分子機械や生体材料から人工的に作られた微小デバイス
- 電気や電磁波による**既存の通信技術が適用できないため分子通信の応用**が期待されている
- 応用例
 - ✓ DDS (Drug Delivery System)
 - ✓ BMI (Brain Machine Interface)

拡散型分子通信

- ブラウン運動で拡散する分子により情報伝達される
- 放出された情報伝達分子の拡散モデルはCIR (Channel Impulse Response) として数学モデル化される



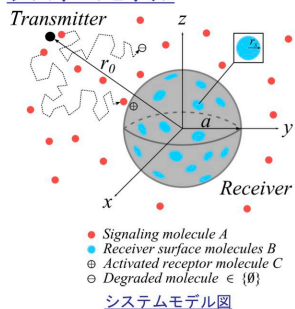
- 既存研究ではチャネルパラメータが既知として事前に与えられている

研究目的

分子通信のチャネルパラメータが未知の場合において
チャネルパラメータ推定システムを構築し、受信特性を評価する

システムモデル

システムモデル



- 情報伝達分子Aに関する拡散方程式

$$\frac{\partial P_A(r, t|r_0)}{\partial t} = D_A \nabla^2 P_A(r, t|r_0) - k_d P_A(r, t|r_0)$$

$$P_A(r, t|r_0): \text{分子Aが時刻}t\text{に位置}r\text{に存在する確率}$$
- 情報伝達分子Aが通信に関与しない分子に変化する一次反応

$$A \xrightarrow{k_d} \emptyset$$
- 受信分子表面の受容体上の分子Bと反応して分子Cとして受信される二次反応

$$A + B \xrightleftharpoons[k_b]{k_f} C$$

CIR

$$P_{AC}(t|r_0) = \frac{k_f e^{-k_d t}}{4\pi r_0 a \sqrt{D_A}} \left\{ \frac{\alpha W\left(\frac{r_0 - a}{\sqrt{4D_A t}}, \alpha\sqrt{t}\right)}{(\gamma - \alpha)(\alpha - \beta)} + \frac{\beta W\left(\frac{r_0 - a}{\sqrt{4D_A t}}, \beta\sqrt{t}\right)}{(\beta - \gamma)(\alpha - \beta)} + \frac{\gamma W\left(\frac{r_0 - a}{\sqrt{4D_A t}}, \gamma\sqrt{t}\right)}{(\beta - \gamma)(\gamma - \alpha)} \right\}$$

$$W(n, m) = \exp(2nm + m^2) \operatorname{erfc}(n + m)$$

r_0 : 送受信分子間距離

$P_{AC}(t|r_0)$: 送信分子から放出された分子Aがt秒後に受信分子に分子Cとして受信される確率

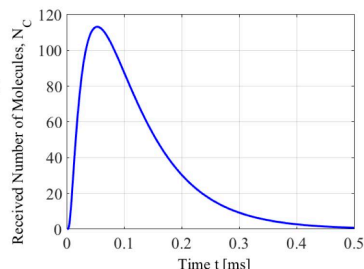
D_A : 情報伝達分子の拡散係数

- 予想される受信分子数

$$N_C(t|r_0) = N_A P_{AC}(t|r_0)$$

N_A : 放出分子数

N_C : 受信分子数



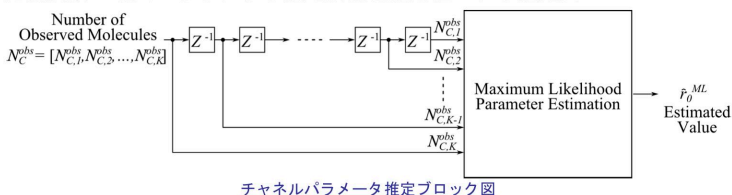
観測分子モデル

- 観測誤差 N_N としてAWGNを想定 N_C^{obs} : 観測分子数
- 系列長 L の送信ビット系列 $\mathbf{b} = [b_1, \dots, b_L]$ t_r : サンプリングタイミング
- による符号間干渉を考慮 T : シンボル周期

$$N_C^{obs}(t_{r,l}|r_0) = \sum_{i=1}^L \{b_i N_C((l-i)T + t_r|r_0)\} + N_N(t_{r,l})$$

最尤法によるチャネルパラメータ推定

尤度関数が最大となるような推定候補を推定値とする推定法



$$\hat{r}_0^{ML} = \arg \max_r l(r)$$

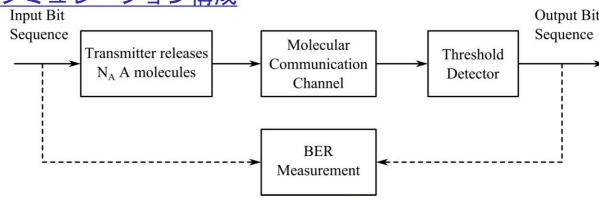
観測誤差がガウス分布に従うことを想定して尤度関数を次式で定義

$$l(r) = p(N_C^{obs}|r) = \prod_{k=1}^K \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(N_{C,k}^{obs} - N_C(t=kt_s|r))^2}{2\sigma^2}}$$

\hat{r}_0^{ML} : r_0 の推定値
 $l(r)$: 尤度関数
 t_s : サンプリング間隔
 σ : 観測誤差の標準偏差

特性評価

BERシミュレーション構成



- しきい値により検波

$$\hat{b}_l = \begin{cases} 1 & \text{if } N_C^{obs}(t_{r,l}|r_0) \geq \xi \\ 0 & \text{if } N_C^{obs}(t_{r,l}|r_0) < \xi \end{cases}$$

\hat{b}_l : 受信ビット

ξ : しきい値

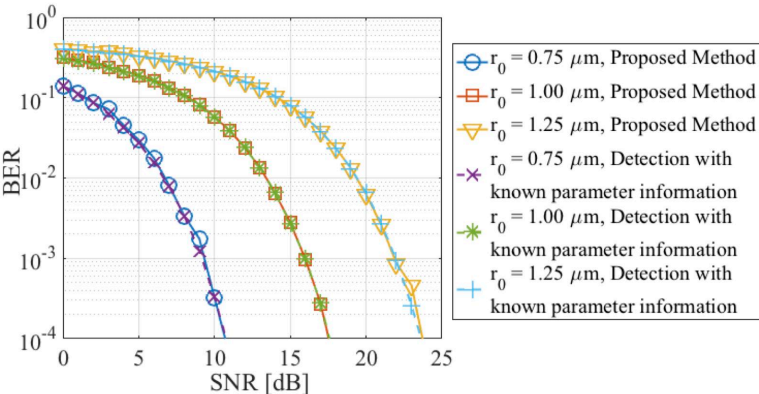
κ : しきい値係数

計算機シミュレーションの諸パラメータ

Training sequence length for ML: L_t	1 bit
Sampling interval for ML: t_s	7.5 μs
Data sequence length: L	10 bits
Symbol interval duration: T	0.3 ms
Threshold coefficient: κ	0.5

BER特性

計算機シミュレーションによりBER特性を評価し
分子間距離を提案法により推定した場合と既知の情報として与えた場合と比較



送受信分子間距離を既知の情報として与えた場合と提案法ではBER特性がほとんど一致している

送受信分子間距離を精度良く推定し、**良好な通信特性を達成**

むすび

- 拡散型分子通信において最尤推定によるチャネルパラメータ推定を行いBER特性の評価を行った
 - BER特性シミュレーションより**チャネルパラメータを精度良く推定**していることを確認
- 今後の課題
 - 動的な分子通信モデルへの本提案法の適用
 - 複数の未知パラメータに対するチャネルパラメータ推定法の検討