

インターネットインフラ特論

14. DTNとICN

太田昌孝

mohta@necom830.hpcl.titech.ac.jp

<ftp://chacha.hpcl.titech.ac.jp/infra14.ppt>

Delay - Tolerant Networking

RFC4838

- The basis for this architecture lies with that of the **Interplanetary Internet**, which focused primarily on the issue of deep space communication in **high-delay environments**. We expect the DTN architecture described here to be utilized in various operational environments, including **those subject to disruption and disconnection and those with high-delay**; the case of deep space is one specialized example of these, and is being pursued as a specialization of this architecture
- Other networks to which we believe this architecture applies include **sensor-based networks using scheduled intermittent connectivity**, terrestrial wireless networks that cannot ordinarily maintain end-to-end connectivity, satellite networks with moderate delays and periodic connectivity, and underwater acoustic networks with moderate delays and frequent interruptions due to environmental factors.

DTNとは

<http://www.dtnrg.org/docs/tutorials/warthman-1.1.pdf>

- 通信に大きな遅延があることを前提としたネットワーク方式
- 全通信内容(メッセージ)を一まとめに、ルータ間で転送する
 - DTNS overcome the problems associated with intermittent connectivity, long or variable delay, asymmetric data rates, and high error rates by using store-and-forward message switching
- HDDの容量はムーアの法則に従い、大きい

ICN (Information Centric Networking)

<http://kfall.net/ucbpage/talks/lcn-icn-dtn-keynote.pdf>

- In Delay Tolerant Networking (DTN), primary areas of focus have on
 - Supporting heterogeneous networks & naming
 - Handling disruption/disconnection
- Information Centric Networking (ICN) has been introduced as a new architectural area
 - What is it all about?
 - Does it relate to, borrow from, or replace DTN?

ICNでは

- Data is much more important than conversations
- So change focus to the content/information
- 制御は？

DTNとは

<http://www.dtnrg.org/docs/tutorials/warthman-1.1.pdf>

- 通信に大きな遅延があることを前提としたネットワーク方式
- 全通信内容(メッセージ)を一まとめに、ルータ間で転送する
 - DTNS overcome the problems associated with intermittent connectivity, long or variable delay, asymmetric data rates, and high error rates by using store-and-forward message switching

DTNのおかしな点(1)

- DTNS overcome the problems associated with intermittent connectivity, long or variable delay, asymmetric data rates, and high error rates???????
- intermittent connectivity
 - ダイヤルアップインターネットでは、当然
 - SMTP(電子メール)では、常時接続サーバでメールを受け取り、端末はダイヤルアップした時点でメールをとりにいく(DTNは既にある)

DTNのおかしな点(2)

- long or variable delay
 - インターネットでは許容される
- asymmetric data rates
 - インターネットでは当たり前
- high error rates
 - 無線LANのように、リンク単位での再送は認めてよい
- データの量もムーアの法則に従い大きくなる

ムーアの法則とDTN

- ムーアの法則により、端末の扱い送受するデータ量は増大の一方
 - インターネットの全ルータがDTNに対応するバッファを持つなど、非現実的
 - DTNは、ありえないか？
- 実は、DTNは古いおなじみの概念
 - UUCP網は、DTN
 - 後期UUCP網がインターネット経由でメールを送受信していたのと同様のDTNは十分実現可
 - 逆に、それ以上のことはほぼ無理

DTNの野望

- It provides services similar to electronic mail, but with enhanced naming, routing, and security capabilities. [RFC4838]
- UUCP網より条件が厳しいのに、Enhanced？
 - パケット交換はろくにできないことに注意

Enhanced naming?

- ドメイン名じゃなくてURIが使える
 - ICN (Information Centric Networking)の影響？
 - 事実上増えるのはファイル名の部分だけ
- MIMEでファイル名を指定すれば、同じこと

Enhanced routing?

- ACKのないリンクやACKが返るまでに状態が変わるリンクの可用性は、自動判断は無理
 - スケジュールを静的に事前設定しておくしかない
- URIのファイル名も経路決定に利用？
 - DNSすら引けないDTN環境では、無理
 - インターネット外では、後期UUCP網内同様、ドメイン名と可能な経路の対応表を静的に持つしかない
 - 初期UUCP網のMapping Projectよりは楽
 - 初期の複雑怪奇なアドレスは、後期UUCP網では単純化された
- そもそも、URNはルータブルではない

Enhanced security?

- 電子メールでできている以上のことはできない
 - MIMEで十分

Delay Intolerant Network

- DTNへのアンチテーゼ
- 携帯インターネット時代には当然望まれる性質
 - 問題は、急な遮蔽物による通信の瞬時的切断
 - セルダイバーシティにより、回避

無線LANとIP Mobilityによる セルダイバーシティ

太田昌孝

東京工業大学情報理工学研究科

mohita@necom830.hpcl.titech.ac.jp

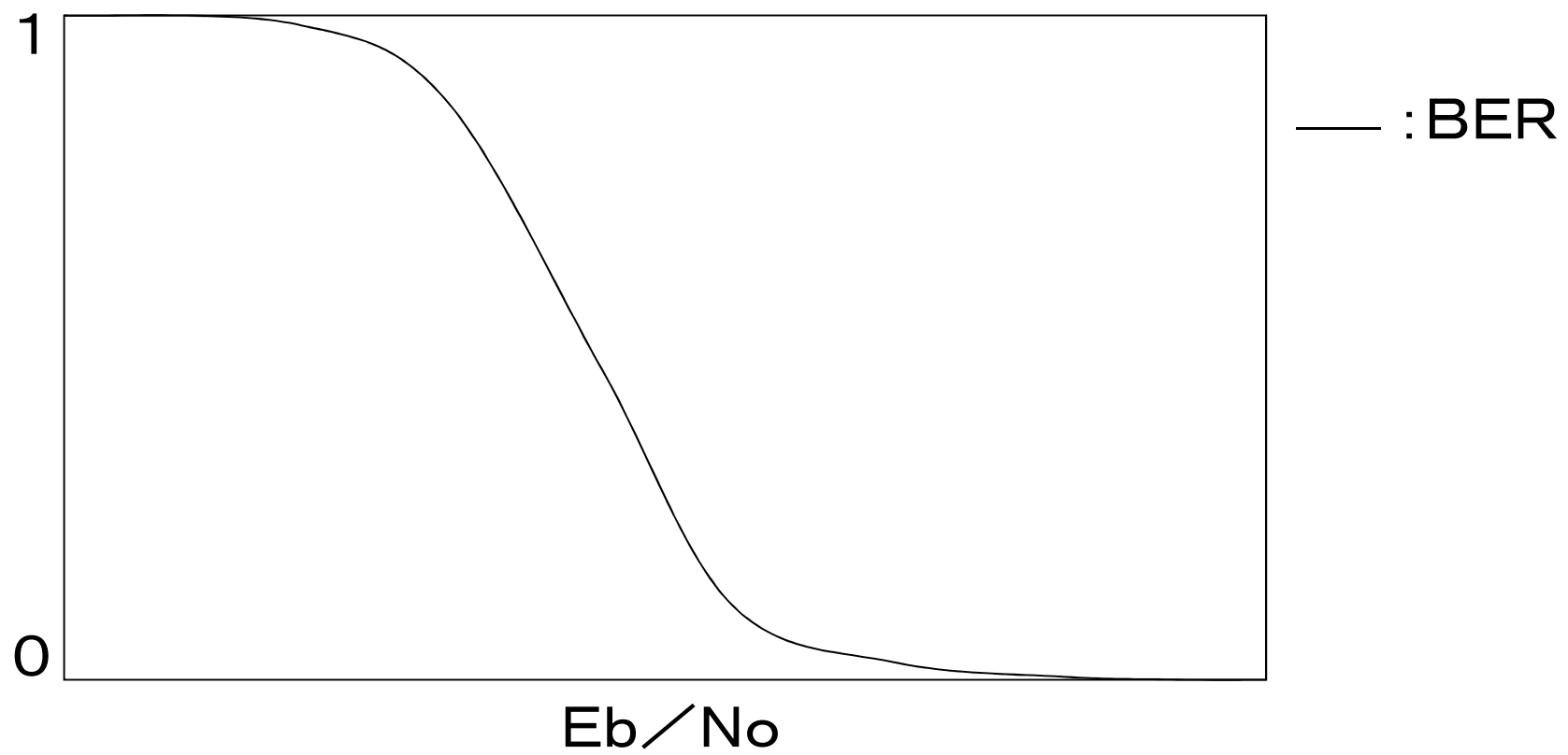
研究の背景

- 反射フェージングは
 - 不感領域(FECも効かない)が広い
 - 多少の空間ダイバーシティは効かない
 - 移動速度がよほど速くないとARQも効かない
 - ハンドオーバーが起きるまで、通信は中断
- 看板での遮蔽も同様
- RAKEより良い方法はないか？
 - 複数セルを利用しての再送？

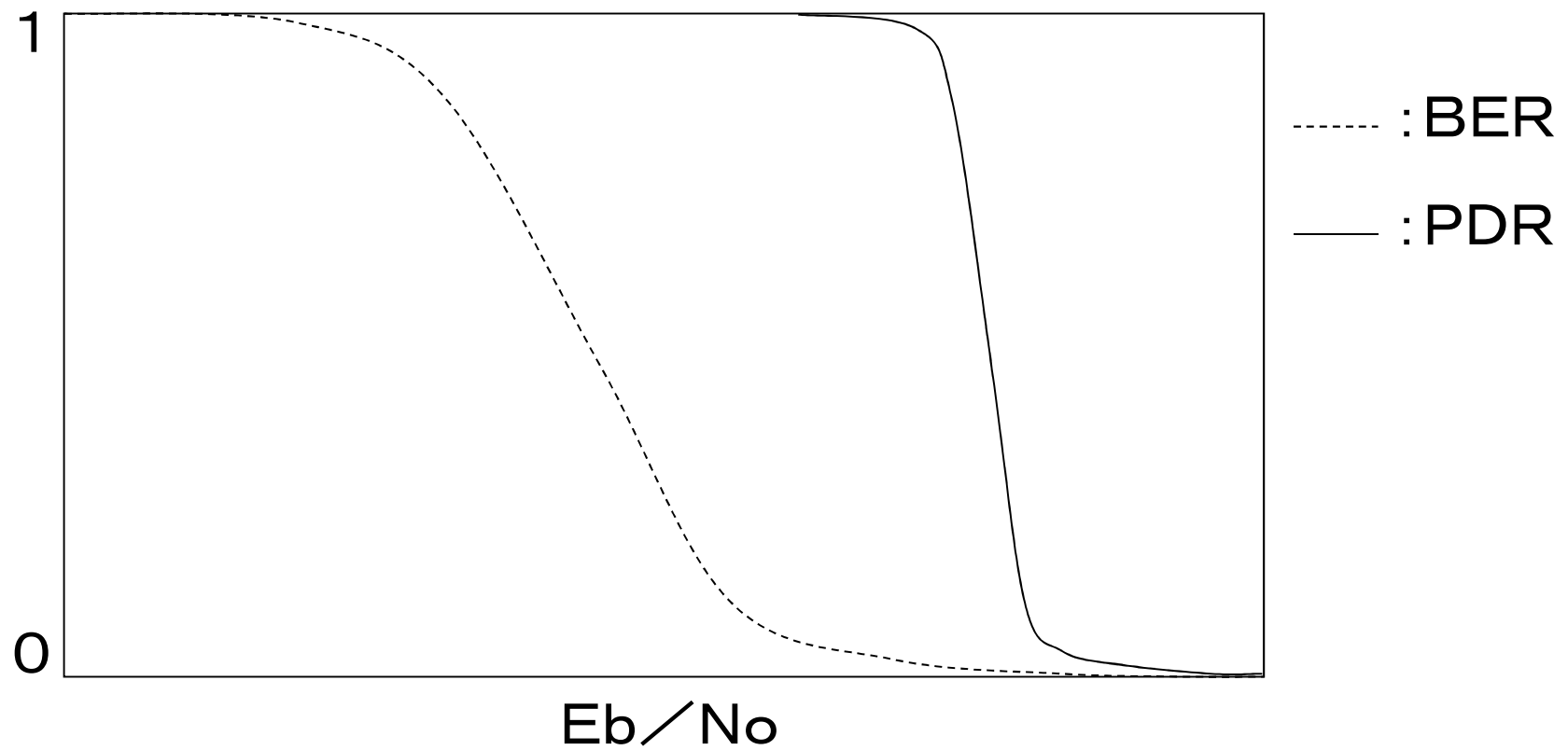
PDR(パケット落ち率)への要求

- ストリーム系(電話、毎秒20パケット)
 - 50ms連続して落ちる程度なら、まあなんとか
 - 連続落ちがなければPDR<1%で十分
- データ系(理想的TCP)
 - 性能上限が $0.97 * MSS / RTT / \sqrt{PDR}$
 - MSS=1000B、RTT=120ms、PDR=1%で
 - 666Kbpsしか出ない
 - 4Gは無論、3Gでも情けない(せめてPDR<0.01%)
 - 遅延もRTTに効くので20ms程度以下に

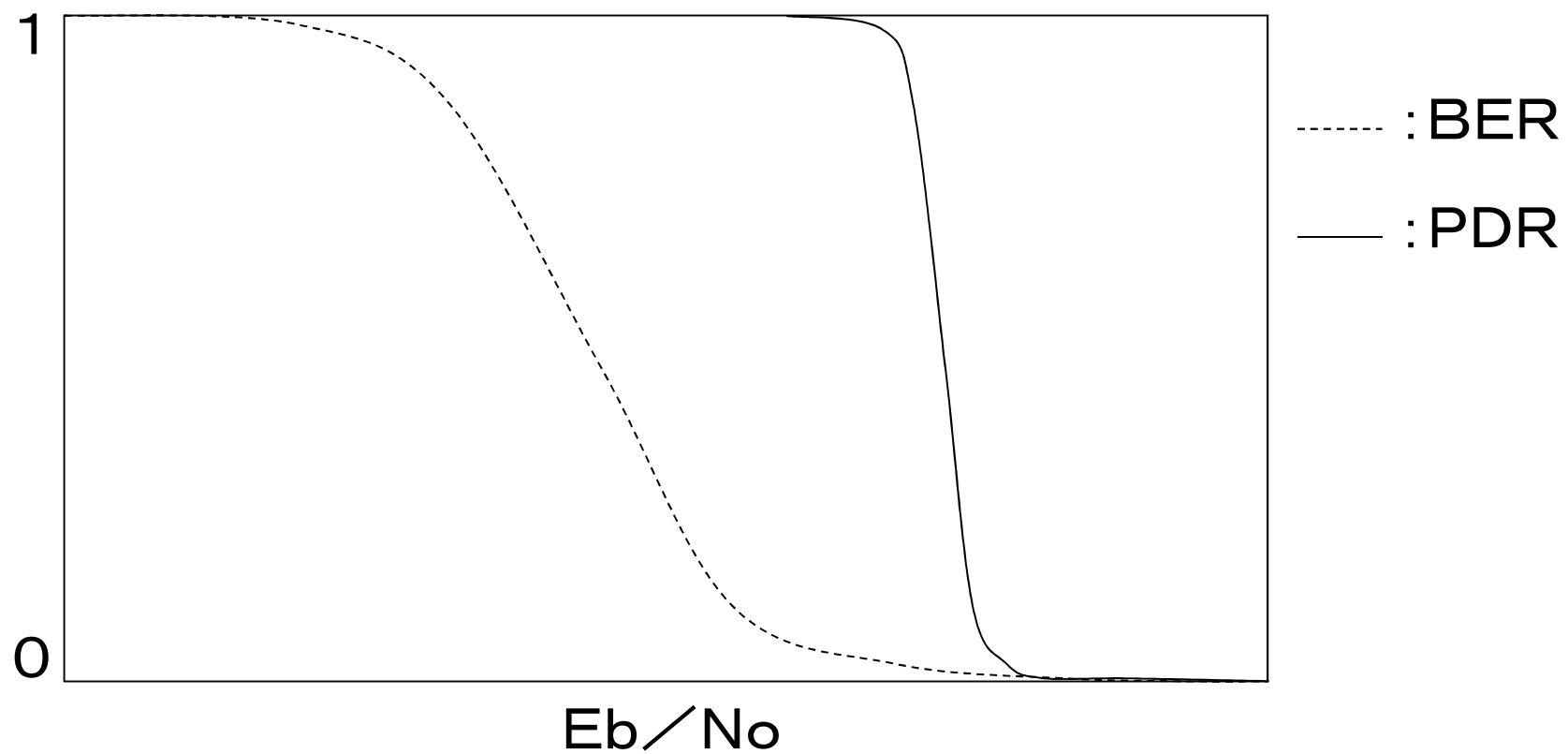
E_b/N_0 とBER



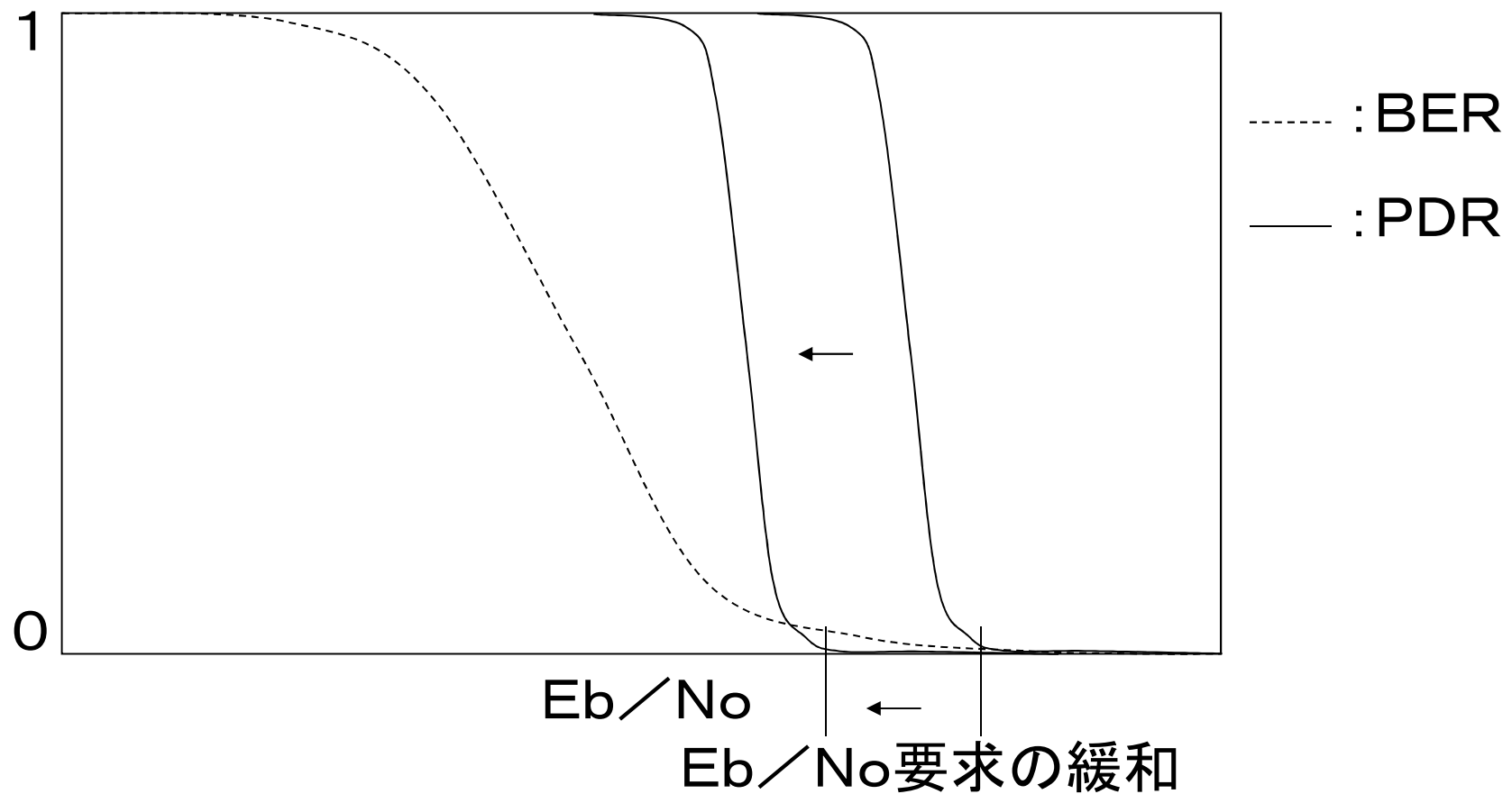
E_b/N_0 とBERとPDR (FECなし)



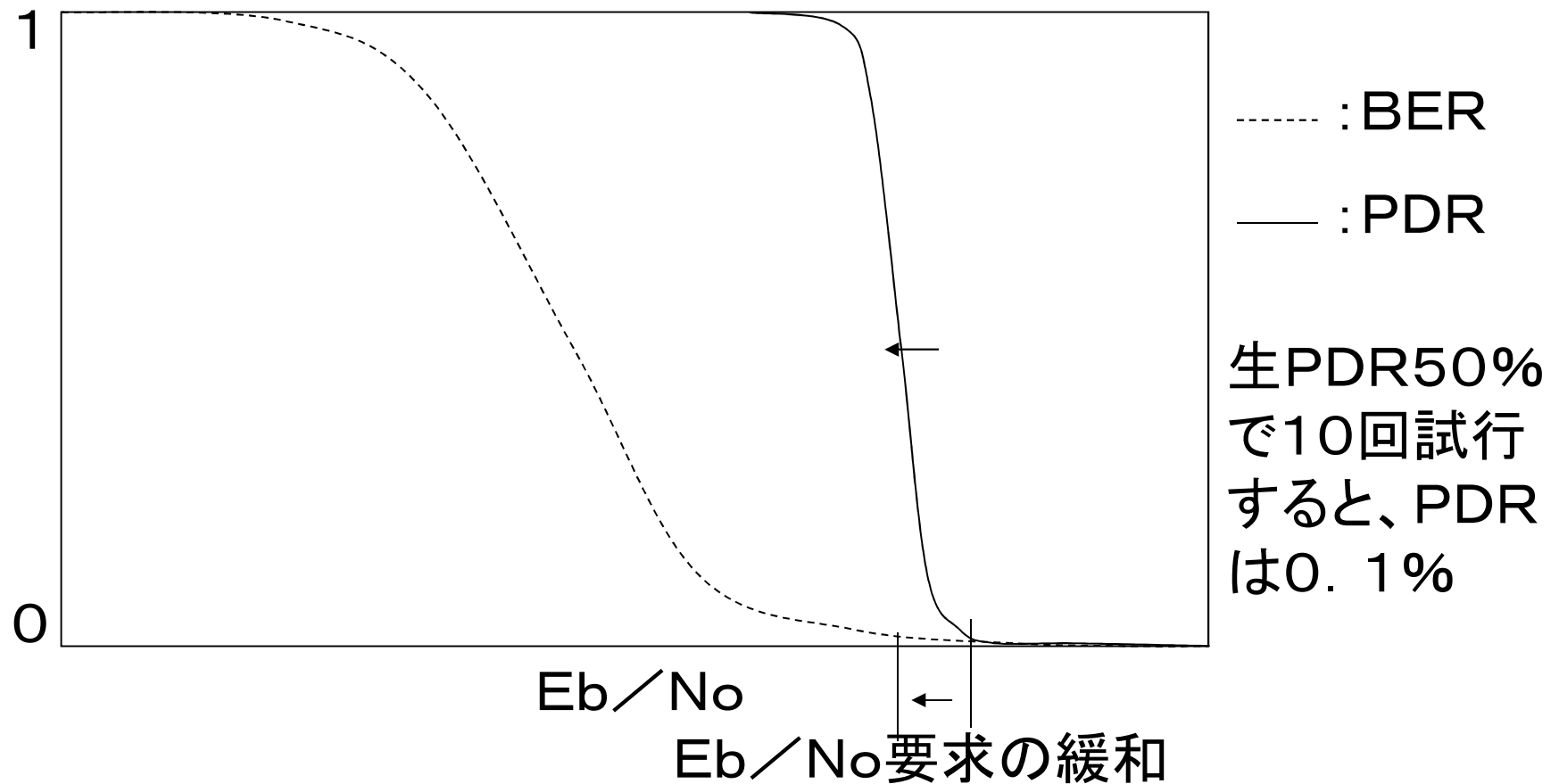
E_b/N_0 とBERとPDR (多少のFECはあり)



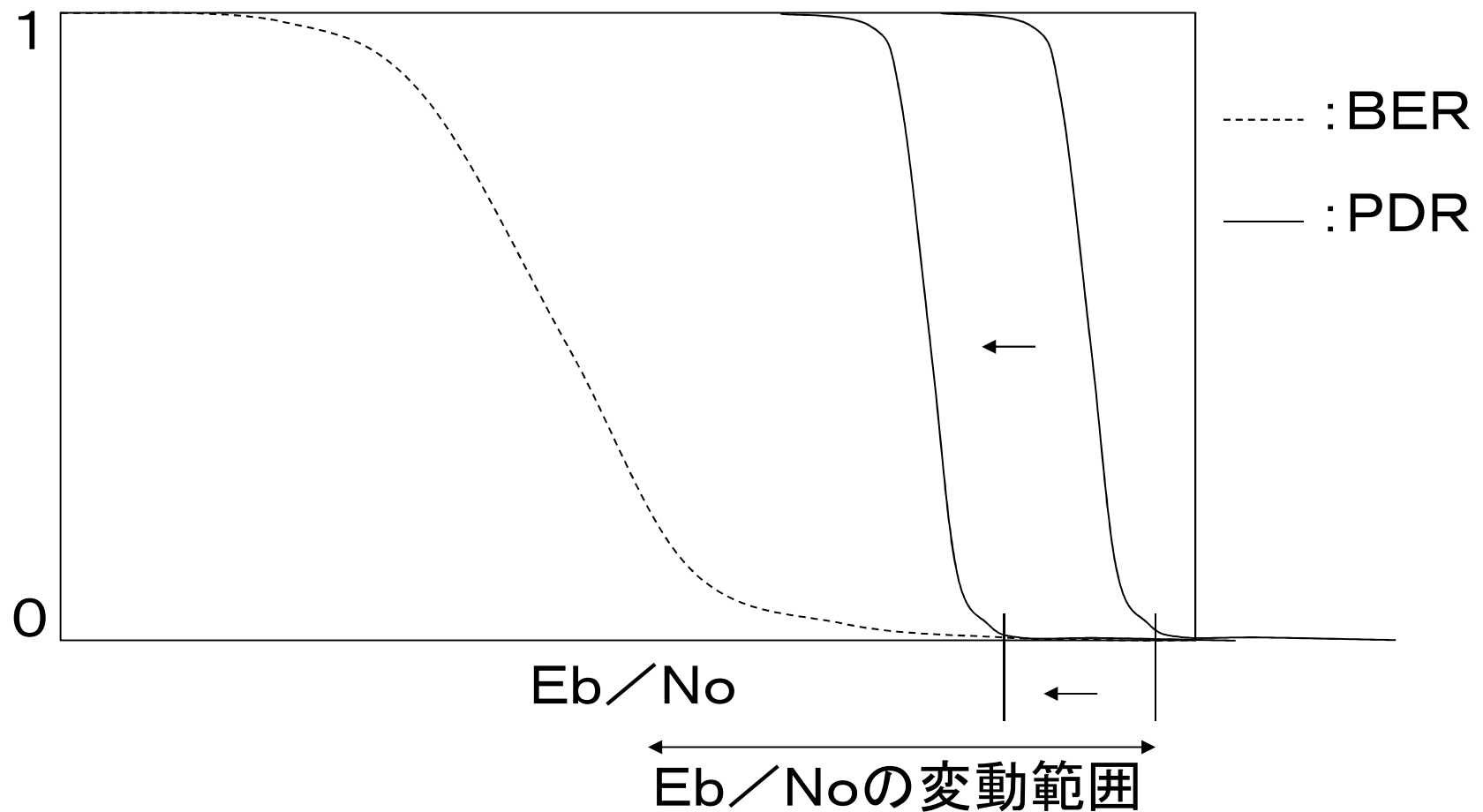
E_b/N_0 とBERとPDRと FEC強化の効果



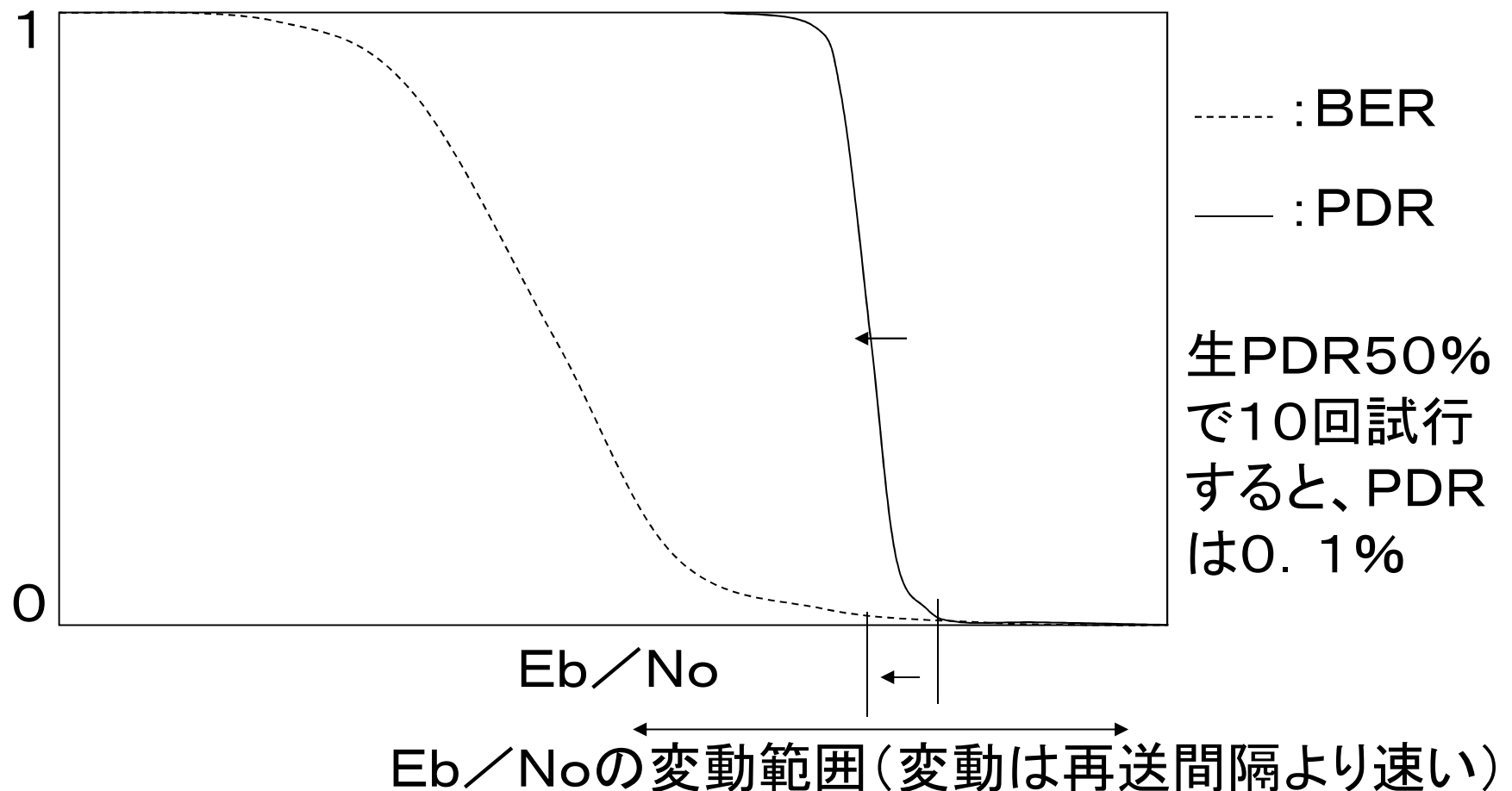
E_b/N_0 とBERとPDRと ARQの効果



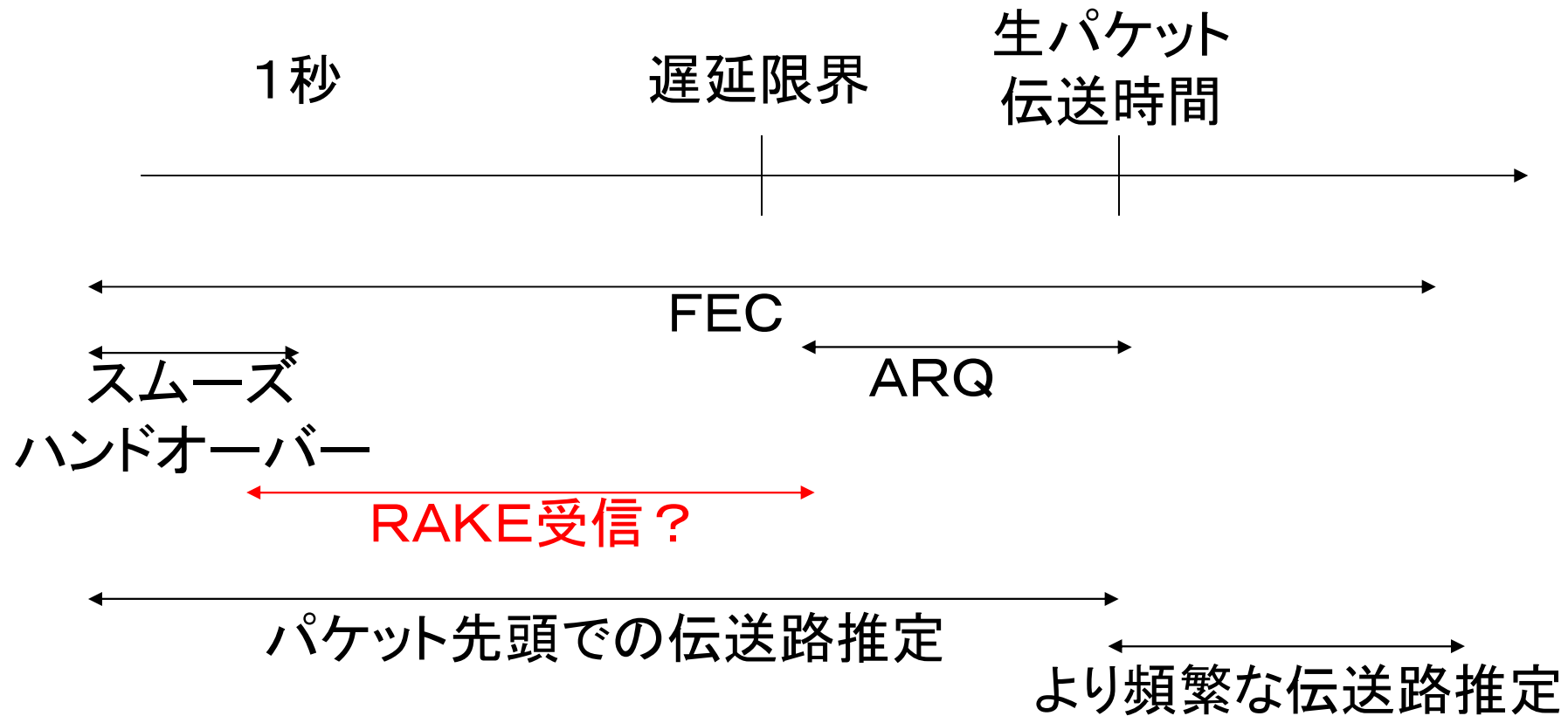
E_b/N_0 の変動とBERとPDRとFEC



E_b/N_0 の変動とBERとPDRと ARQの効果



伝送特性 (E_b/N_0) の 変動速度と パケット落ち防止対策



無線LANとARQ

- 同時送信はお互いにノイズ
 - CSMA／CAにもかかわらず、同時送信はたまに起きる
 - E_b/N_0 がパケット伝送時間程度で激しく変化
- 無線LANではARQで対処
 - ACKが帰ってこない場合、平均待ち時間を倍々にしつつ再送を繰り返す
 - 11aでは待ち時間は最高4.6msまで
 - 1ms程度以下の E_b/N_0 の変動には対処できるが、、

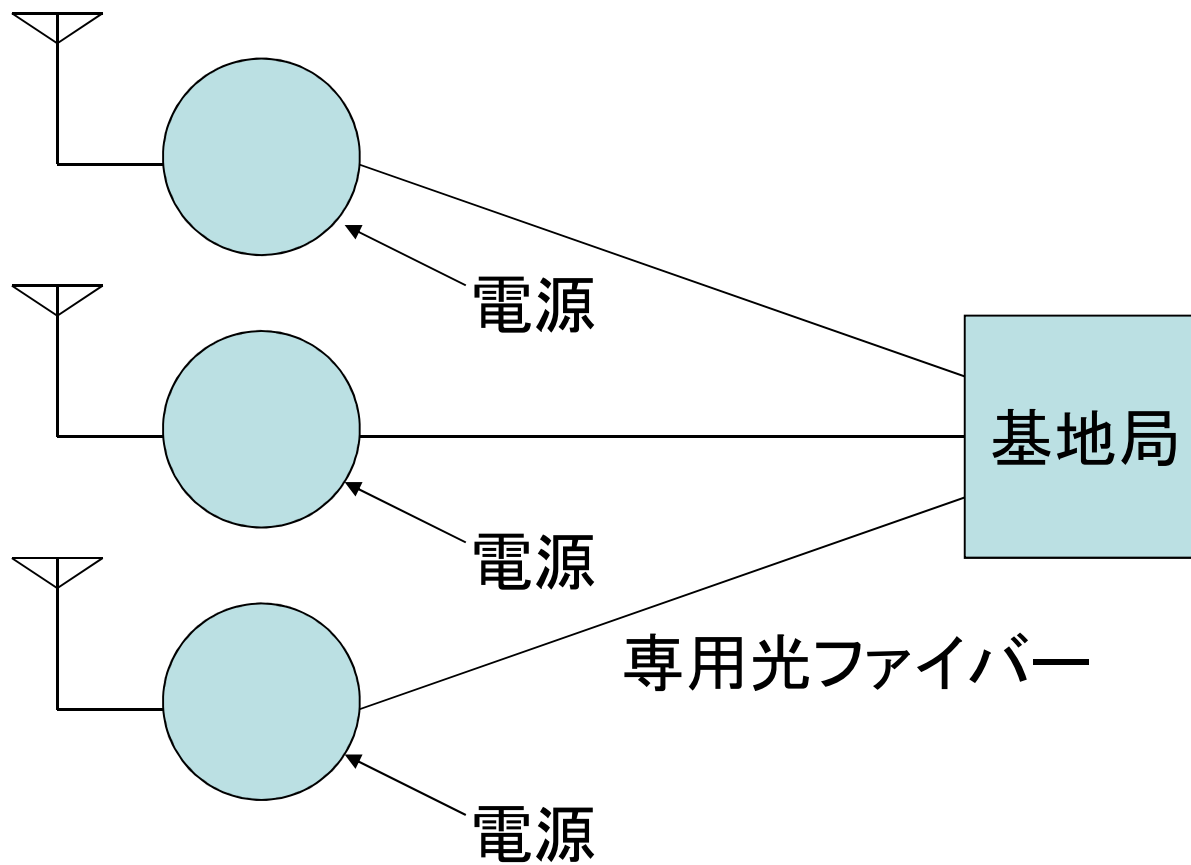
パケット落ち防止への要求条件

- $PDR < 1\%$
 - $PDR < 0.01\%$ が強く望まれる
- 10ms～1秒程度の時間での伝送特性の極端な変動をカバー
 - 大きな反射フェージング、看板での遮蔽等
 - 多少の空間ダイバーシティでは役に立たない
- 遅延は数十ms以下に
 - 時間ダイバーシティは使えない

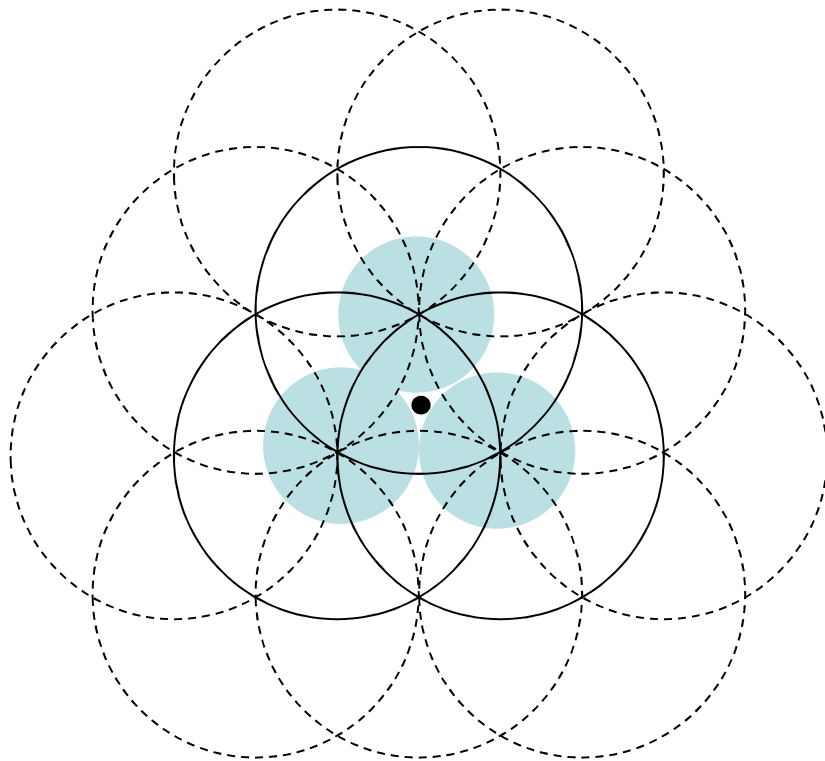
RAKE受信

- マルチパスのそれぞれの信号の遅延のずれを補正して全部足し合わせて受信
 - 複数基地局からの信号にも適用可能
 - 一部基地局が突然遮蔽等されても大丈夫
 - OFDMではGI以下の遅延差なら自動的に可
- 複数基地局＜一＞端末では
 - 送信電力は基地局数分の1に減少可
 - 一部基地局が突然遮蔽等される対策には、無理

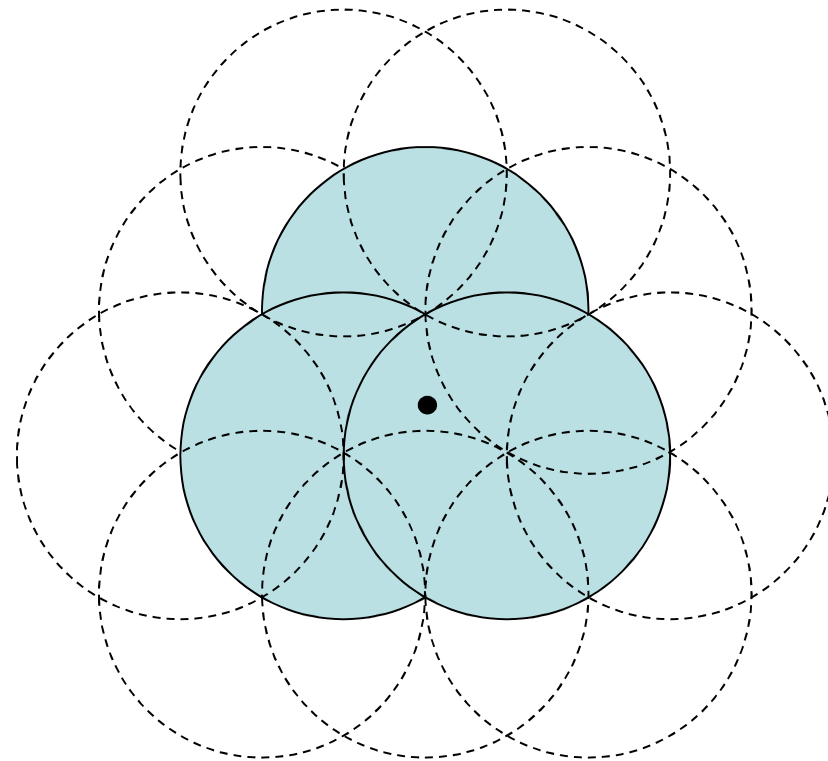
RAKE受信の設備例



RAKEの通信範囲 (基地局→端末)

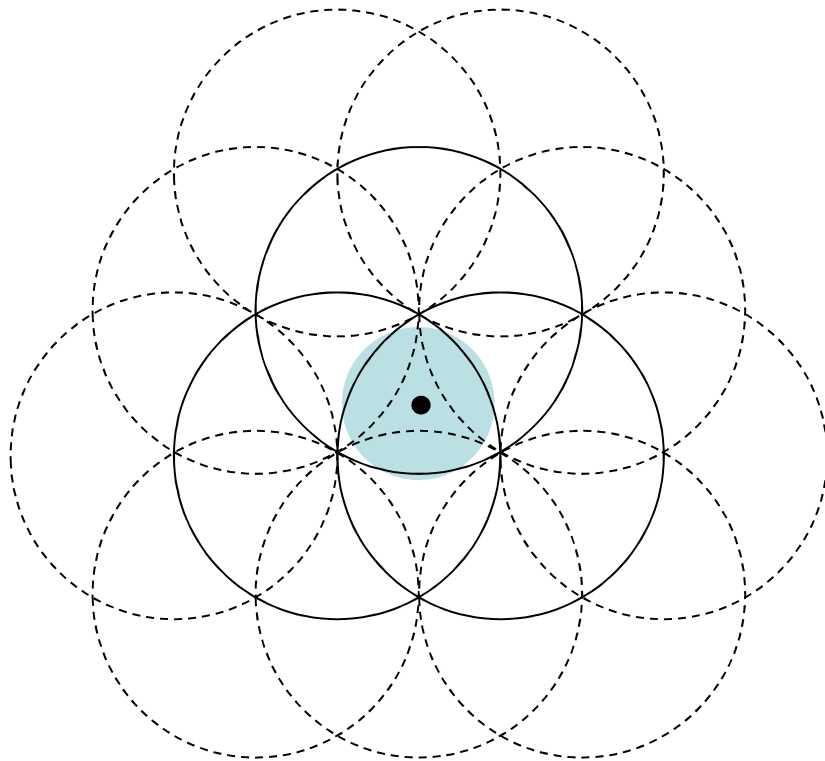


基地局遮蔽に対応しない場合

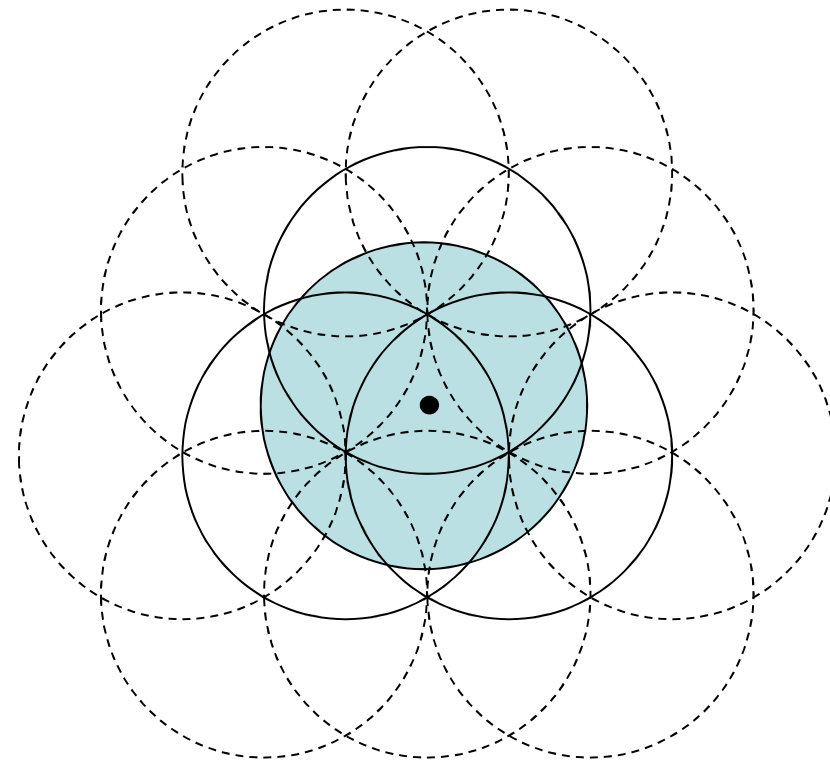


基地局遮蔽に対応する場合

RAKEの通信範囲 (端末→基地局)

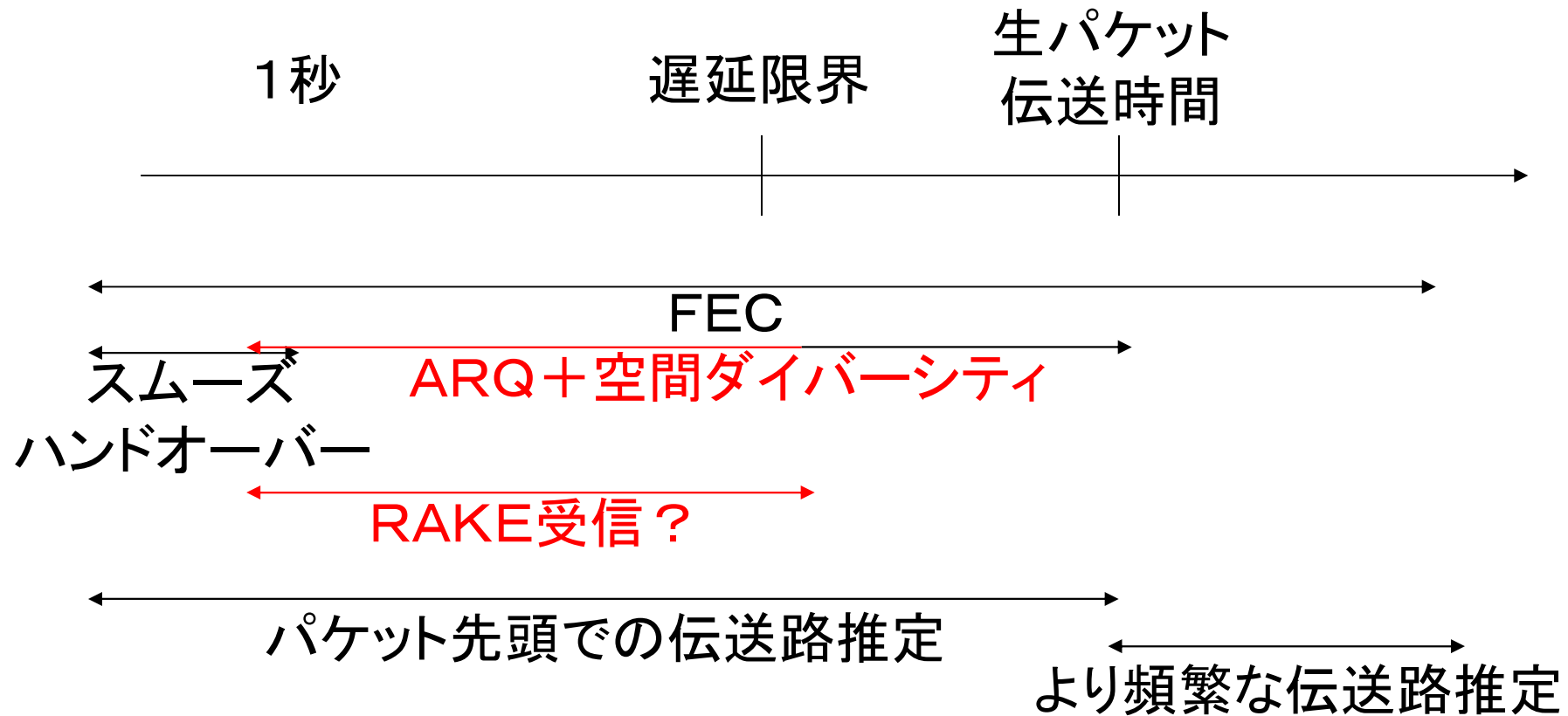


基地局遮蔽に対応しない場合



基地局遮蔽に対応する場合

伝送特性 (E_b/N_0) の 変動速度と パケット落ち防止対策



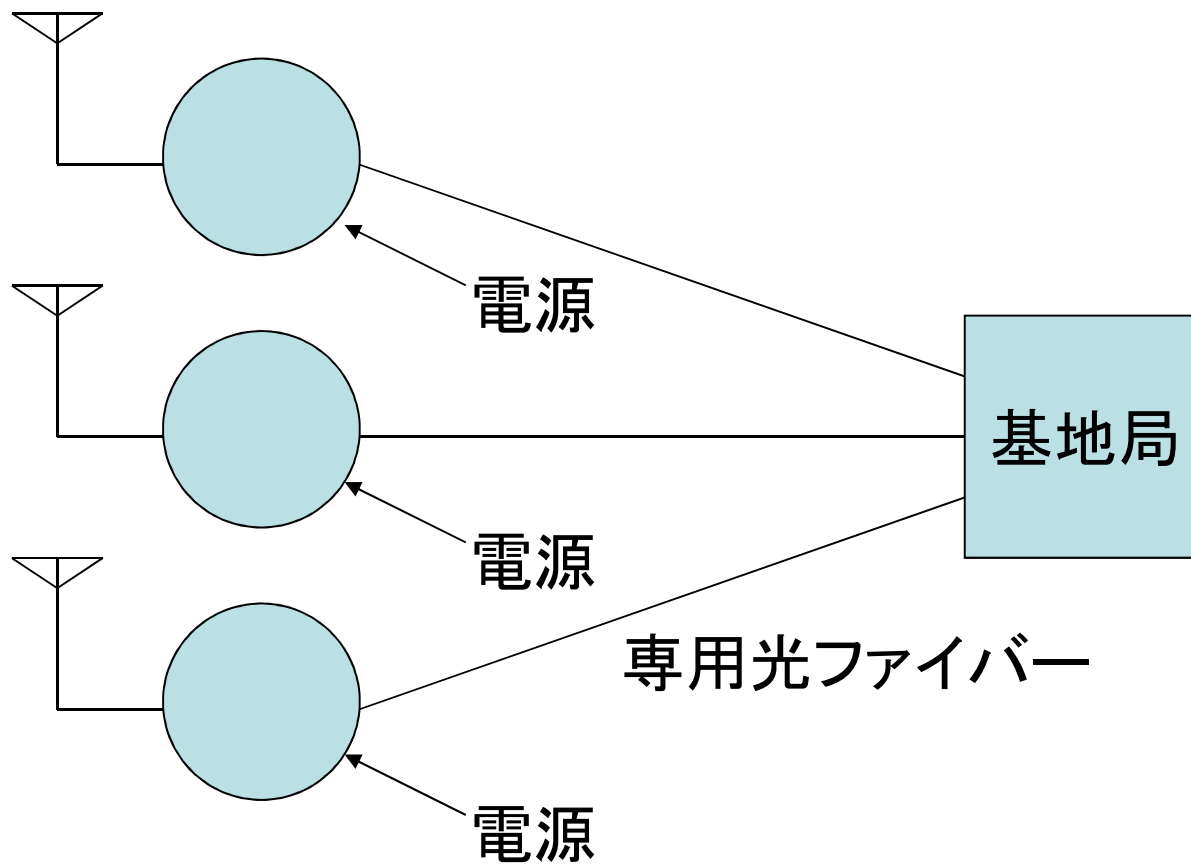
セルダイバーシティ(提案方式)

- 一時の送信は1基地局からのみ
- ARQの再送は、別の基地局から
- 利用可能基地局は、端末が管理
 - ハンドオーバー時間程度で可能
 - 端末は各基地局に、他の基地局を通知
 - 基地局間連携はデータ転送のみ、制御は不要
 - 無限ループが起きないように、注意
- 端末からの再送も、基地局を変える

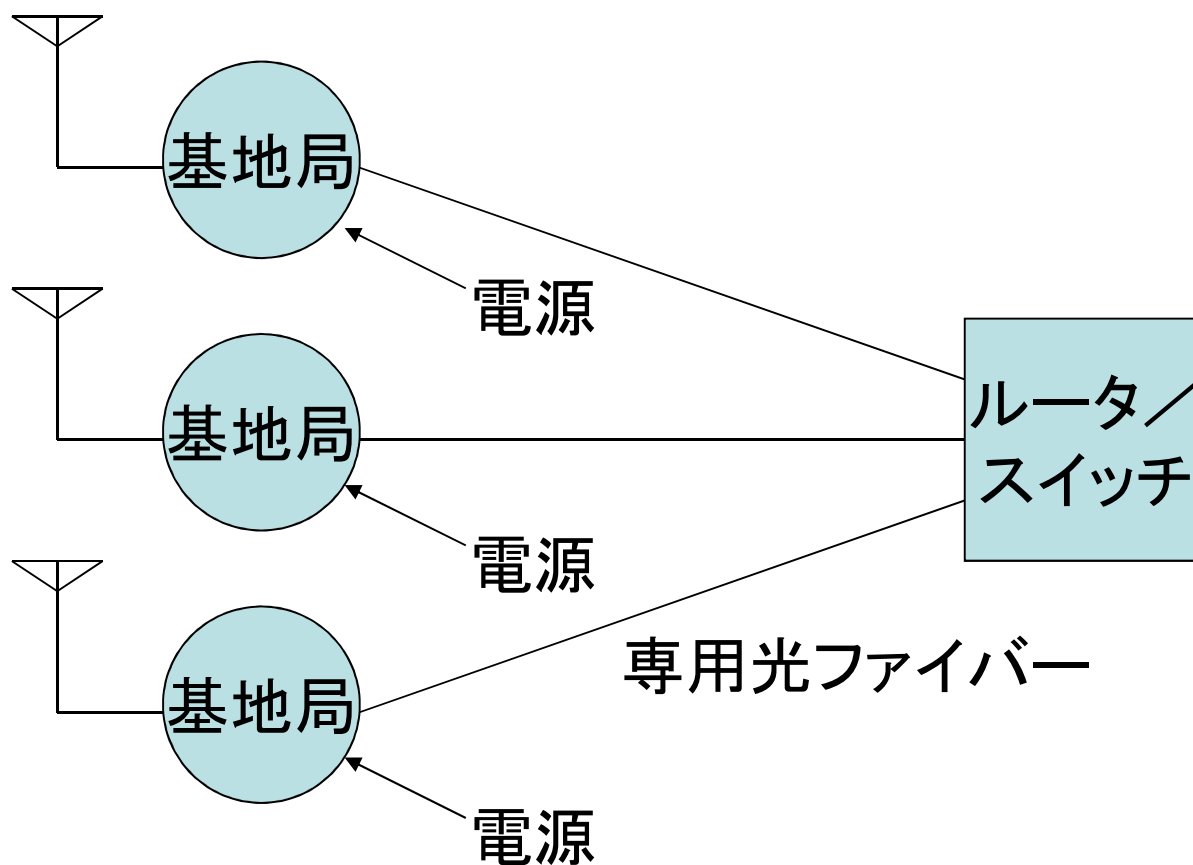
セルダイバーシティの遅延

- 有線系での転送遅延を除けば
 - 無線LANと同じ
 - 11aのパラメーターで
 - 送信4回で490.5 μ 秒
 - 送信6回で2.2m秒
- RAKEでは有線系での転送遅延を極めて小さくするため、専用光ファイバーを利用
 - アンテナあたりのコストも、似たようなもの

RAKE受信の設備例



セルダイバーシティの設備例



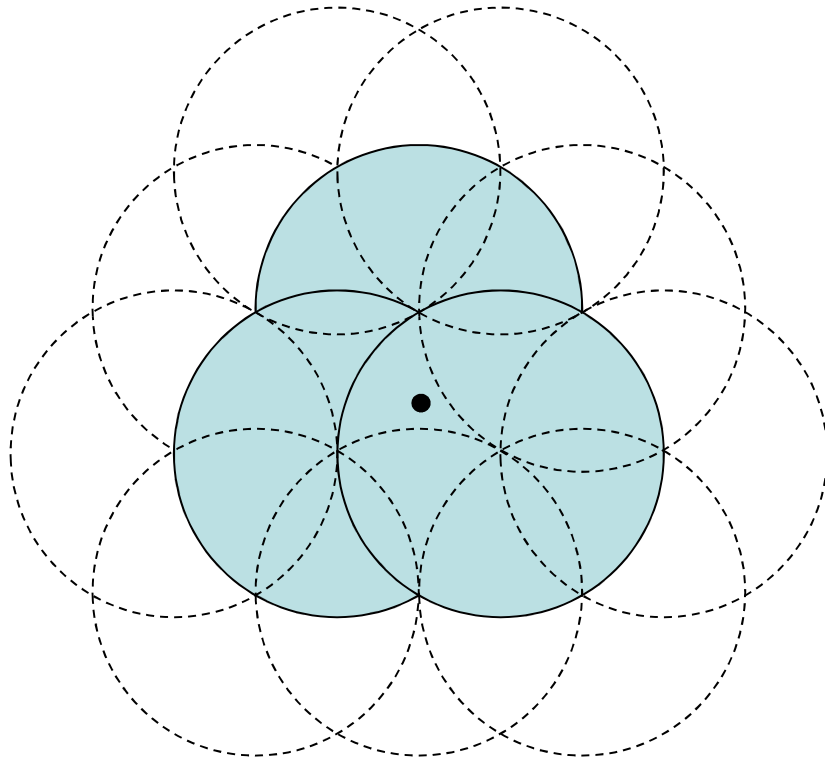
3個の基地局を使った RAKE受信のPDR

- $PDR = (1-H)^3 (Eb3倍での生のPDR) + 3H(1-H)^2 (Eb2倍での生のPDR) + 3H^2(1-H) (生のPDR) + H^3$
 - H: 基地局遮蔽確率 (基地局ごとに独立)
 - あまり大きくない (H=10%で、 $PDR > 0.1\%$)
 - 生のPDRほど小さくない
- 生のPDRは十分よい ($< 1\% \sim 0.01\%$)
 - ちょっとしたFECの強化で、Eb3倍と同等に

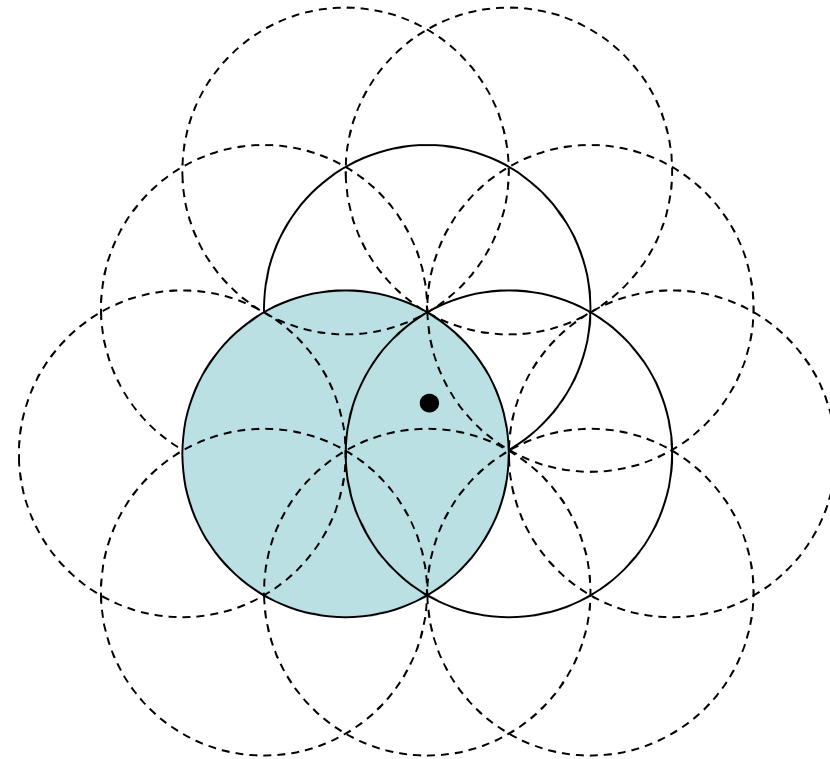
3個の基地局(再送各2回)を 使った提案方式のPDR

- $PDR = (1-H)^3 (\text{生のPDR})^6 + 3H(1-H)^2 (\text{生のPDR})^4 + 3H^2(1-H) (\text{生のPDR})^2 + H^3$
 - 再送ごとに伝送特性は独立と仮定

RAKEは実は面積あたりの 周波数利用効率が悪い？

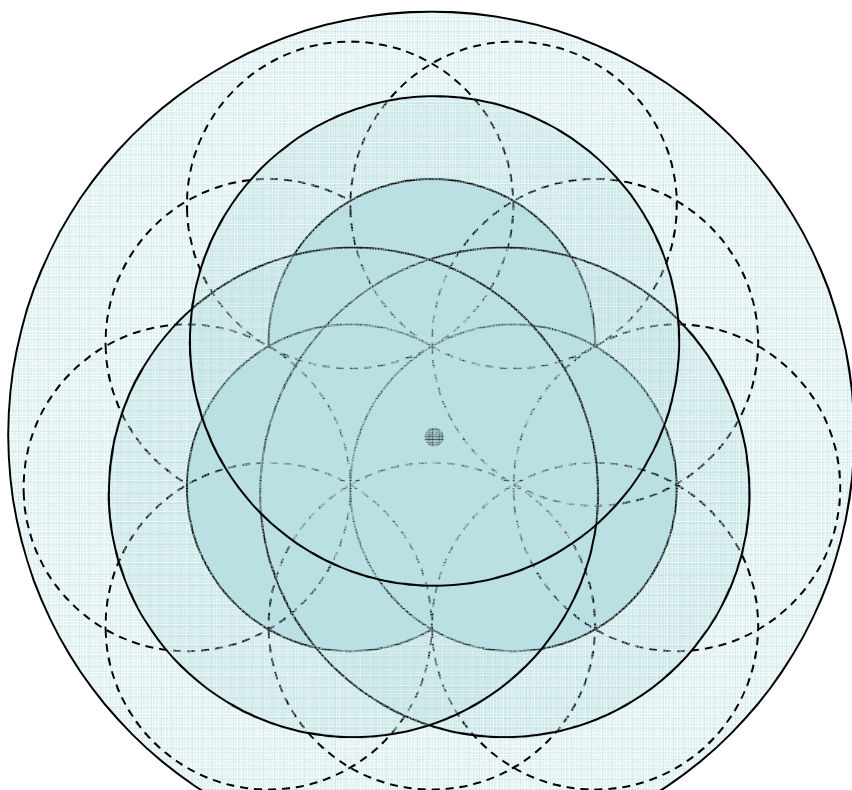


RAKEの通信範囲
(基地局遮蔽に対応の場合)

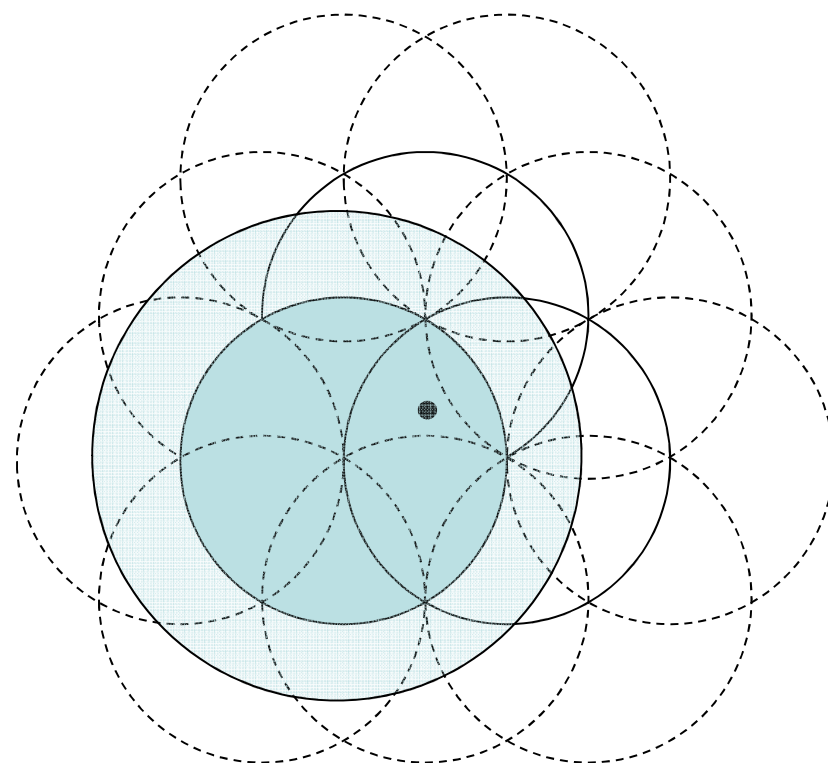


提案方式の通信範囲
(再送はあまり起きないので)

RAKEは実は面積あたりの 周波数利用効率はもっと悪い



RAKEの影響範囲
(基地局遮蔽に対応の場合)



提案方式の影響範囲
(再送はほとんど起きないとして)

まとめ

- PDR(パケット落ち率)は小さいほどいい
 - ストリームで1%、高速データでは0.01%
- E_b/N_0 のグラフの読み方に注意
 - 時間変動の強度と速度を考慮
- セルダイバーシティ(提案方式)は有効
 - 遅延は既存無線LANと同程度
 - RAKE受信より面積あたり周波数利用効率良
 - 例では、逆二乗則で3倍程度

混雑してる無線LANでは？

- 同時再送信の確率は大い
- 生のPDRは大い
 - ARQ後のPDRや遅延も増える
 - TCPの性能も低下
 - 混んでるから、望ましい性質
- QoS保証(11e)を導入すれば
 - BEからの同時再送信の確率は減る
 - QoS保証通信は低PDR、低遅延で可

今後の課題

- 実装と実験による評価