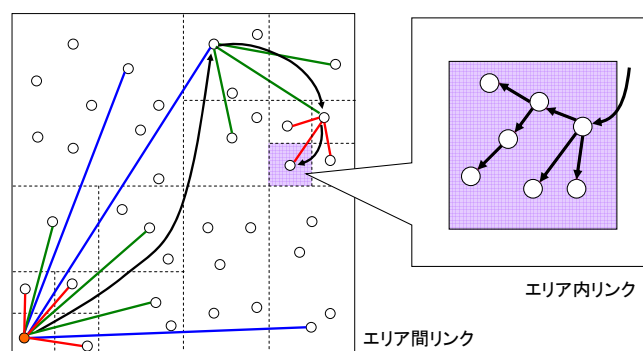


地理的探索オーバーレイ LL-Net の Skip Graphを使った実装

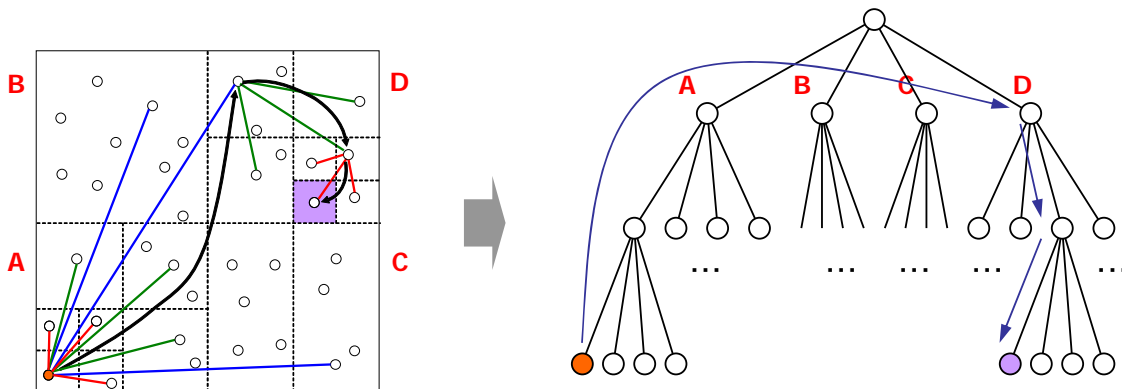
LL-Net

- Location-based Logical P2P Network
 - 地理的探索のためのオーバーレイネットワーク
特に、近傍オブジェクトの探索に効力を発揮
 - ピアの位置(緯度、経度)に基づいてオーバーレイネットワークを構築・維持
 - 対象世界(地球全体)を矩形のエリアに分割し、階層的に管理
 - モバイル端末の接続・切断・移動に応じて、オーバーレイネットワークを動的に構成



普通に実装すると...

- 2次元領域を段階的に4分割
- 得られた4分木をベースにルーティングテーブルを構成
 - 各レベルについて、隣接する3つの領域へのリンクを保持
- ルーティングの方法は、Pastryとほぼ同じ



3

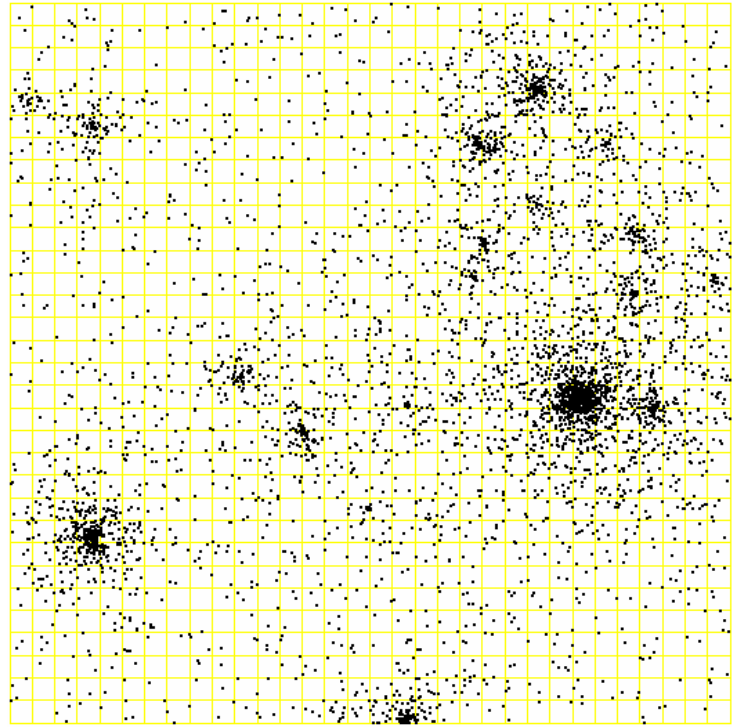
しかし問題が...

- ピアは一様に分布しない
 - 通常は、ベキ乗分布になる
 - つまり、4分木も凸凹になり、木の深いところでは、探索効率が悪化する
- IDでピアが引けるか?
 - 元々、LL-Netは、ピアのアドレス(IP, port)で、ピアを識別する前提
 - 現実的なシステムでは、ピアをIDで識別し、lookupする必要がある
 - このサポートには、LL-Netの下層にDHTのような機構が必要
 - LL-Netそのもののせいではないが、DHTでは気にならなかった問題

4

参考:ベキ乗分布

- 集中点20,
総ピア数5000
で出力してみた
- 代表例:
東京 800万
横浜 340万
大阪 260万
...
- 順位をnとして、
人口が次の関数
になっている
 $y=an^{-1}$



5

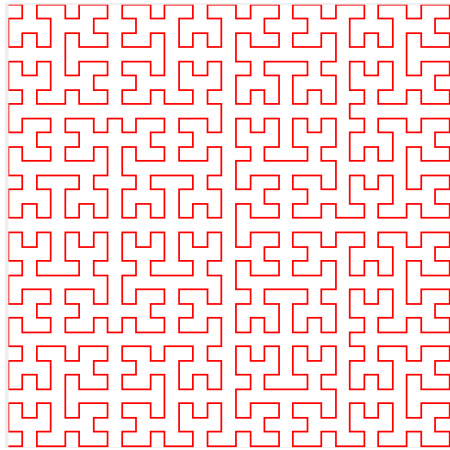
そこで、Skip Graph

- 利点
 - 内部に形成されるグラフ構造 (skip list) が常にバランスするため、探索効率は、 $\log N$ に安定
 - IDからのピア探索も容易
- 問題は、2次元で指定される範囲をどう1次元に変換するか
- 多次元を1次元に変換する手法として、空間充填曲線 (space-filling curves) を利用するのが常道

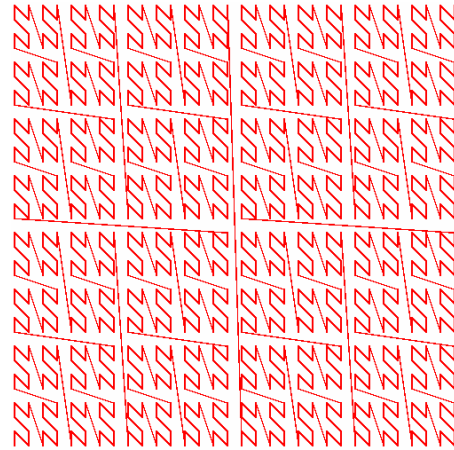
6

空間充填曲線

- ペアノ曲線ともいう
- よく知られているのが、ヒルベルト曲線
- Zの書き順にしたのが、Z-order (Z曲線)
- 変換は、Z-orderの方がやりやすいため、range searchではこちらがよく使われる



ヒルベルト曲線 位相5



Z-order 位相5

7

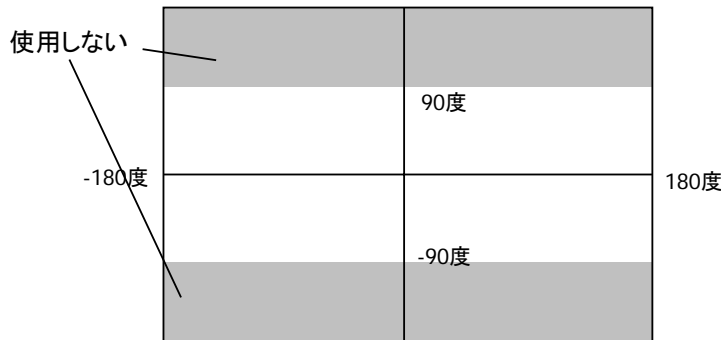
空間充填曲線

- 興味のある人は論文も
 - F. Ramsak et al, Integrating the UB-tree into a Database System Kernel. Int. Conf. on Very Large Databases, (VLDB) 2000
 - …多次元の range search については古くから研究がされている
 - Jens-Michael Wierum, Logarithmic Path-Length in Space-Filling Curves, Proceedings of the 14th Canadian Conference on Computational Geometry, 2002
 - …代表的な空間充填曲線の局所性を比較した研究も
 - C. Schmidt and M. Parashar, Flexible Information Discovery in Decentralized Distributed Systems. In HPDC, 2003
 - …Chord への応用例
 - P. Ganesan, B. Yang and H. Garcia-Molina, One Torus to Rule them all: Multi-dimensional Queries in P2P Systems. In WebDB, 2004
 - …P2Pへの応用(多次元range search)

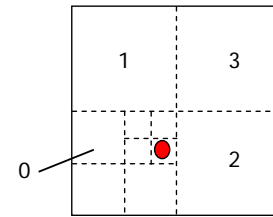
8

Location-ID (L-ID)

- 緯度・経度の2次元位置情報を1次元にエンコード
- 変換には、Z-orderを使用
- 32桁の4進数値
- 精度は約1cm（地球の全周が40000kmなので）



ベース領域 - 地球全体



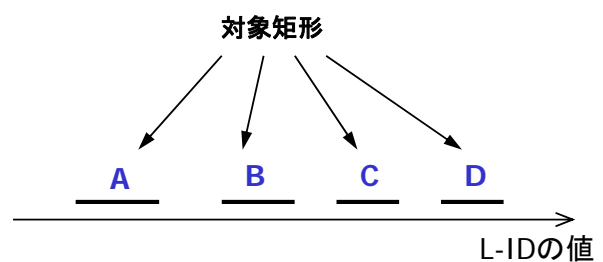
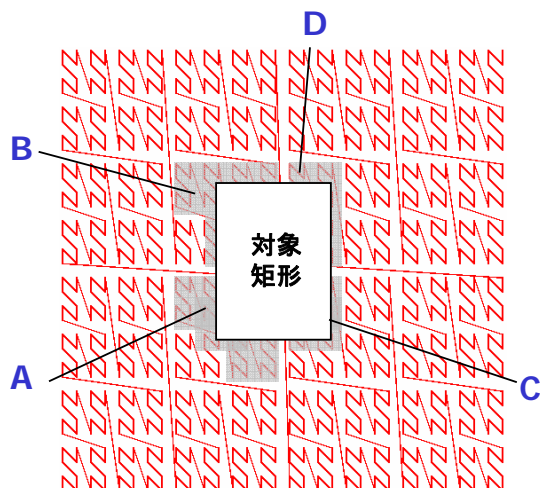
032

エンコーディング例 (3桁)

9

Range Search

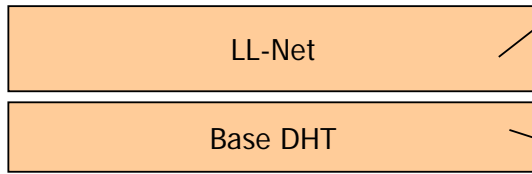
- 設定した矩形を包含する1次元の範囲を求めて、その後 Skip Graphを使って探索
- 通常は、4つ以上の部分範囲に分かれる
- 誤差部分については間引く必要がある



10

レイヤ構成の改善

- ルーティングテーブルの1本化による機構のシンプル化

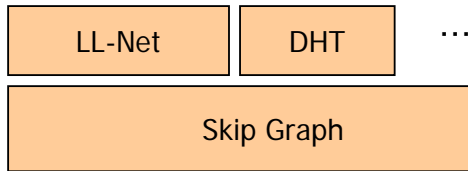


外部リンクテーブル

Level				
...				
1				
0				

Routingテーブル

Level				
...				
1				
0				



Routingテーブル

Level	left	right
...		
1		
0		