

분산 네트워크용 결정론적 2차원 격자 + 행렬 아핀 계산 기반 다중 경로 라우팅과 지향성 가십을 구현하는 방법

작성자 : 한혁진 E-mail bokkamsun@gmail.com

요약: 모든 피어를 같은 시드로 같은 격자에 배치한다. 같은 격자 위에서 최단 1경로 + 좌·우 우회 2경로를 결정론적으로 만든다. 메시지는 경로를 내장해 다음 노드 한 칸만 전진한다. 실패나 장애가 보이면 전방 이웃만 선택하는 지향성 가십을 짧게 켜서 커버리지를 보강한다. 이로써 재현성·도달성·대역 효율을 동시에 확보한다.

- 완전한 결정론성: 동일한 시드와 피어 집합이면 모든 노드가 똑같은 격자·경로를 재현한다.
- 구성적 다중경로: 최단 BFS에 아핀 편향 $T(\theta, k)$ 로 좌·우 경로를 의도적으로 합성한다.
- 경로 내장형 포워딩: 메시지에 `path[]` 를 싣고 다음 IP 한 칸만 전진한다.
- 경량 구현·높은 이식성: 8-이웃 BFS·격자 스냅·간단 행렬 연산만으로 구동한다.
- 기존 대비 차별성: 무작위/거미줄형 그래프 탐색이 아니라 결정론적 2D 임베딩 + 선형대수 기반 편향으로 경로를 재현 가능하게 합성한다.
- 실전성 검증: 채굴·투표·검증 흐름에 3경로를 동시에 적용해 혼잡·차단·부분장애에서도 도달률을 실사용 수준으로 확보한다.

본 발명은 공통 시드와 IP로 모든 피어를 결정론적으로 정방 격자에 배치한다. 같은 격자 위에서 최단 경로(BFS) 1개와 아핀 편향 $T(\theta, k)$ 로 만든 좌·우 우회 경로 2개를 함께 산출해 항상 3경로를 제공한다. 메시지는 이 경로들을 `path[]` 에 내장하고 각 홉은 다음 IP 한 칸만 전진하므로 중간 판단이 없고 루프가 구조적으로 차단된다. 그리고 지향성 가십은 기존 가십을 대체한다. 전방 이웃만 선택하고 짧은 TTL로 확산해 팬아웃 ≤ 3 을 유지하면서 전역 전파를 수행한다. 즉, 내장 3경로는 확정 경로 전달, 지향성 가십은 대규모 전파의 기본 엔진이다. 입력이 같으면 모든 노드가 동일 경로·동일 전파 패턴을 재현하므로 테스트·감사가 용이하고, 혼잡·검열·부분 장애에서도 안정적 전파와 낮은 비용을 동시에 달성한다.

1. 개요

본 기술은 무작위 전파 대신 결정론과 경로 내장을 사용한다. 절차는 다음과 같다.

1. 결정론 정렬: 공통 시드와 주소로 모두가 같은 순서를 만든다.
2. 격자 배치: 그 순서를 바둑판 격자에 채운다.
3. 기본 경로 생성: 격자 8이웃 그래프에서 최단 경로를 구한다.
4. 우회 경로 합성: 진행축 기준 아핀 편향으로 좌·우 중간점을 잡고, 두 구간 최단을 이어 우회 2경로를 얻는다.
5. 경로 내장 전달: 메시지에 `path[]` 를 싣고 다음 노드 한 칸만 보낸다. 중간 판단이 없어 루프와 지터가 줄어든다.
6. 지향성 가십: 기존가십과 섞어 쓰거나, 전달 실패·지연 징후가 있으면 전방 이웃만 선택해 짧은 TTL로 확산한다. 필요할 때만 커 대역 스파이크를 막는다.
7. 중복 억제: 송신 측은 동일 첫 홉을 제거하고, 수신 측은 최근 ID 집합으로 중복을 드롭한다.

2. 기술분야

분산 네트워크와 블록체인 환경에서의 결정론적 토폴로지 구성과 다중 경로 메시지 라우팅.

3. 배경기술과 차별성

- 기존 임의 전파는 경로가 흔들려 재현성이 낮다.
- 격자·메쉬 기반 탐색은 단일 최단 중심으로 우회 설계가 빈약하다.
- 경로를 메시지에 내장하지 않으면 중간 홉의 로컬 상태에 경로가 좌우된다.

본 발명은 다음에서 차별화된다.

- ① 결정론 격자 사상으로 모든 노드가 동일 토폴로지를 재현한다.
- ② 행렬 아핀 편향으로 좌·우로 굽은 우회 경로를 수식적으로 설계하고, 격자 스냅과 두 구간 최단 결합으로 이산화한다.
- ③ 경로 내장형 전달과 양단 중복 억제로 도달성과 효율을 동시에 달성한다.

4. 용어와 기호

피어 수 N , 정렬열 $\mathbf{v} = [v_0, \dots, v_{N-1}]$ 이고, 격자 한 변 길이 S 와 좌표는 다음과 같다.

$$S = \lceil \sqrt{N} \rceil$$
$$r = \left\lfloor \frac{i}{S} \right\rfloor$$
$$c = i \bmod S$$

격자 좌표 벡터는 $\mathbf{p} = [c \ r]$ 이다.

여덟 이웃은 $\mathcal{N}_8 = (-1, -1), (-1, 0), (-1, 1), (0, -1), (0, 1), (1, -1), (1, 0), (1, 1)$ 이다.

정의: 결정론 임계값 함수(일반형) 에서 임계값은 $h_p = \text{computeThreshold}(\text{ip}(p), \text{seed}) \in [0, 2^w)$ 로 둔다.

정렬 키는 $(h_p, \text{ip}(p))$ 이며 **오름차순 사전식**으로 정렬한다.

구현 예(해시 XOR 기반) 은 다음과 같다.

$$h_p = \text{LOW}_w(F(\text{seed}) \oplus F(\text{ip}(p)))$$

여기서 F 는 고정 해시 함수, \oplus 는 비트 XOR, $\text{LOW}_w(\cdot)$ 는 하위 w 비트 취함이다.

5. 발명의 요지

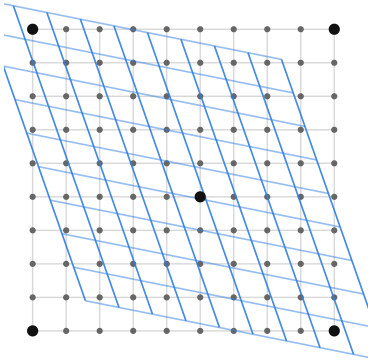
5.1 결정론 정렬

모든 노드는 동일한 seed 와 피어 주소 집합에 대해 다음 임계값을 계산한다.

$$h_p = \text{LOW}_w(F(\text{seed}) \oplus F(\text{ip}(p)))$$

정렬은 **오름차순** $(h_p, \text{ip}(p))$ 기준으로 수행한다. 입력이 같으면 결과가 항상 같으므로 전 노드가 **동일한 정렬열**을 얻고, 이를 $S \times S$ 격자에 순차 배치하므로 **토폴로지도 전 노드에서 동일**하다.

데카르트 좌표



토폴로지 구성을 결정론적 격자 배치하여 행렬연산이 가능하다.

5.2 격자 사상

정렬 순서 i 번째 피어를 (r, c) 에 순차 배치한다. 빈 칸은 존재하지 않는 노드로 간주해 자동 회피된다.

5.3 최단 경로

여덟 이웃 무가중 그래프에서 시작 \mathbf{p}_s 와 목표 \mathbf{p}_g 사이 **최단 흡수 경로** \mathcal{P}_0 를 산출한다.

5.4 로컬-법선 평행이동 기반 편향

진행축을 기준으로 로컬 좌표에서 **법선 방향**(y 축) 으로 α 만큼 평행이동한 **편향 중간점**을 만든 뒤, **두 구간 최단**을 이어 좌·우 대체 경로를 얻는다.

6. 수학적 구성

6.1 진행각과 변위

시작점과 목표점은 각각 $\mathbf{p}_s = [c_s \ r_s]$, $\mathbf{p}_g = [c_g \ r_g]$ 이다.
변위는 $\mathbf{d} = \mathbf{p}_g - \mathbf{p}_s$ 이고, 진행각은 $\theta = \text{atan2}(r_g - r_s, c_g - c_s)$ 이다.

6.2 진행축 정렬과 로컬-법선 평행이동

회전행렬 R

$$R(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

- 1. 진행각으로 정렬한다.
$$\begin{bmatrix} x_L \\ y_L \end{bmatrix} = R(-\theta)(\mathbf{p}_s + t \mathbf{d} - \mathbf{p}_s), \quad y_L \leftarrow y_L \pm \alpha, \quad \tilde{\mathbf{p}}_m^{(\pm)} = \mathbf{p}_s + R(\theta) \begin{bmatrix} x_L \\ y_L \end{bmatrix}.$$
- 2. 로컬 법선(y_L)으로 $\pm \alpha$ 평행이동한다.
- 3. 역정렬하여 월드 좌표로 복귀한다.

여기서 $\mathbf{d} = \mathbf{p}_g - \mathbf{p}_s$, $t \in (0, 1)$ 이며 코드 기본은 $t = 0.5$ 이다.
부연: 기존 문서의 $T(\theta, k) = R(\theta), S_x(k), R(-\theta)$ 표기는 개념 설명이며, 실제 구현은 **로컬-법선 평행이동**으로 동치 효과를 낸다.

6.2a 동차좌표 버전

현재 문서는 작성된 코드와 일관성을 유지하기위해 , 동차좌표 없이 “로컬-법선 평행이동”으로 구현하였다. 추가로 이해를 돕기 위해 **동일 동작을 3x3 동차 행렬**로도 첨부한다.

- 동차 변환
$$T(a, b) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & a \\ 0 & 1 & b \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
- 편향 중간점 생성 행렬
$$M_{\pm} = T(c_s, r_s) \ R(\theta) \ T(t \|\mathbf{d}\|, \pm \alpha) \ R(-\theta) \ T(-c_s, -r_s)$$
- 적용
$$\tilde{\mathbf{p}}_m^{(\pm)} = (M_{\pm} [c_s, r_s, 1]^T)_{xy}, \quad \hat{\mathbf{p}}_m^{(\pm)} = \text{clipRound}(\tilde{\mathbf{p}}_m^{(\pm)})$$
- 동치성(요지)
위 전개를 풀면

$$\tilde{\mathbf{p}}_m^{(\pm)} = \mathbf{p}_s + t \mathbf{d} \pm \alpha \hat{\mathbf{n}},$$

- 즉 본문 식(§6.3)과 **완전히 동일**하다.
여기서 $\mathbf{d} = \mathbf{p}_g - \mathbf{p}_s$, $\hat{\mathbf{n}} = [-\sin \theta, \cos \theta]^T$.
- 선택 확장(개념용)
과거 표기 $T(\theta, k) = R(\theta) S_x(k) R(-\theta)$ 를 쓰고 싶다면,

$$M_{\pm} = T \ R(\theta) \ S_x(k) \ T(t \|\mathbf{d}\|, \pm \alpha) \ R(-\theta) \ T^{-1}$$

- 처럼 **전개 지점**에 끼우면 된다. 본 구현은 $S_x(k) = I$ 로 두고 **평행이동만** 사용한다.
- 구현
동차 방식을 택해도 마지막은 동일하게 clipRound() 와 경계 클램프를 적용한다.

6.3 편향 중간점과 격자 스냅

법선 단위벡터는 $\hat{\mathbf{n}} = [-\sin \theta \ \cos \theta]$ 이다.
 편향 세기는 $\alpha = 0.6, k, \|\mathbf{d}\|$ 이며 기본 $t = 0.5$ 를 사용한다.
 연속 공간상의 편향 중간점과 격자 반올림·경계 클램프는

$$\tilde{\mathbf{p}}_m^{(\pm)} = \mathbf{p}_s + t \mathbf{d} \pm \alpha \hat{\mathbf{n}}, \quad \hat{\mathbf{p}}_m^{(\pm)} = \text{clipRound}(\tilde{\mathbf{p}}_m^{(\pm)}).$$

- $\hat{\mathbf{p}}_m^{(\pm)}$ 이 시작 또는 목표와 같은 셀이면, 법선 $\hat{\mathbf{n}}$ 방향으로 $\text{bump} = \text{sign}(\alpha) \cdot \max(1, 0.1\|\mathbf{d}\|)$ 만큼 추가 평행이동 후 다시 clipRound 한다.
- 해당 셀이 비어 있으면 반경 ≤ 3 내에서 가장 먼저 발견되는 유효 셀을 대체 선택한다.

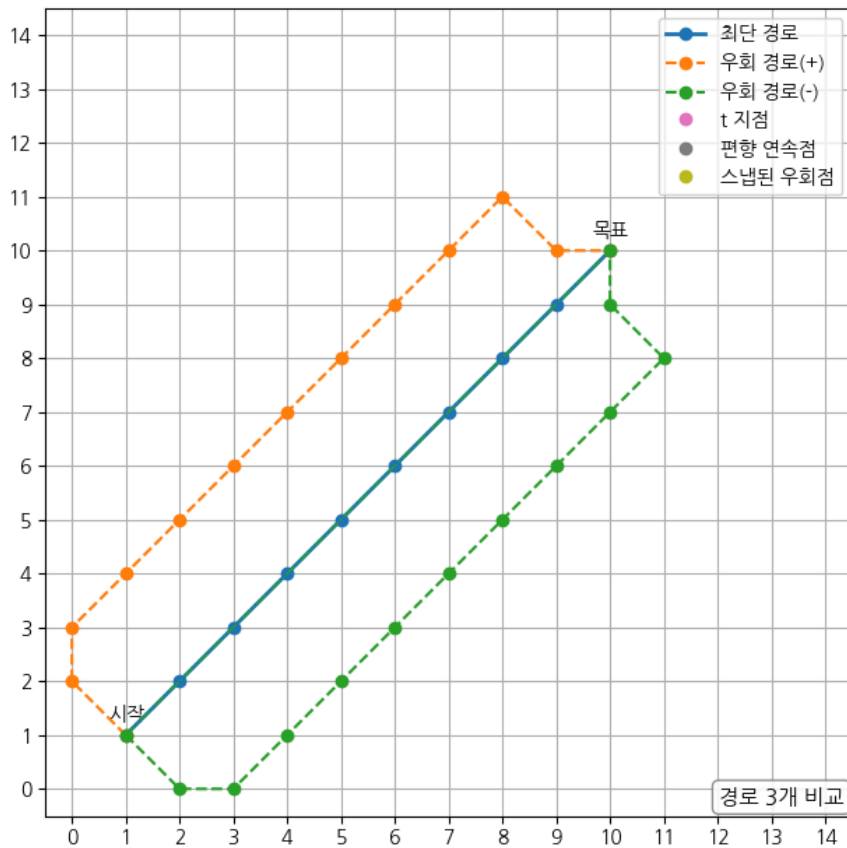
6.4 두 구간 최단 결합

편향 경로는

$$\mathcal{P}_{\pm} = \text{ShortestPath}(\mathbf{p}_s, \hat{\mathbf{p}}_m^{(\pm)}) \oplus \text{ShortestPath}(\hat{\mathbf{p}}_m^{(\pm)}, \mathbf{p}_g)$$

- 첨부하는 그림은 $t = 0.9$ 를 적용 중복경로 최소를 구현함

ubms 3 path [t 값이 0.9]



이며, \oplus 는 중간점 중복을 한 번만 포함하는 연결이다(코드에서 두 번째 구간은 인덱스 1부터 불임).

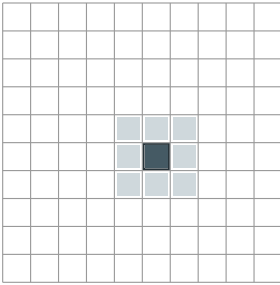
7. 지향성 가십 전파(Directional Gossip) — 결정론 격자 기반 부채꼴 전파

7.1 정의

격자 좌표를, $\mathbf{p} = [c \ r]^T$, 로 두고, 여덟 이웃 집합은

$$\mathcal{N}_8 = (-1, -1), (-1, 0), (-1, 1), (0, -1), (0, 1), (1, -1), (1, 0), (1, 1).$$

8이웃(\mathcal{N}_8)



방향 부호 벡터, $\mathbf{u} = [s_x \ s_y]^T \in -1, 0, 1^2 \setminus (0, 0)$, 를 메시지 필드 op3="sx, sy" 로 내장한다. 이는 시작점과 발신자 사이 상대 위치의 부호 정규화:

$$s_x = \text{sign}(c_{\text{nbr}} - c_{\text{src}}), \quad s_y = \text{sign}(r_{\text{nbr}} - r_{\text{src}}),$$

$$\text{sign}(z) = \begin{cases} 1, & z > 0 \\ 0, & z = 0 \\ -1, & z < 0 \end{cases}$$

7.2 전파 규칙(부채꼴 전방 이웃)

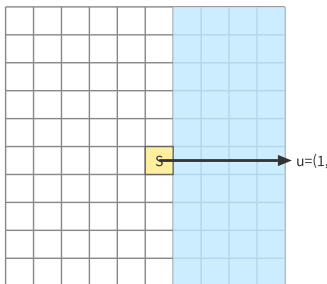
현재 홈이, \mathbf{p} , 일 때 전방 이웃 집합을

$$\mathcal{F}_{\mathbf{u}}(\mathbf{p}) = \{\mathbf{p} + \boldsymbol{\delta} \mid \boldsymbol{\delta} \in \mathcal{N}_8, \boldsymbol{\delta} \cdot \mathbf{u} > 0\}$$

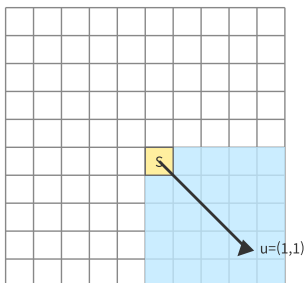
로 정의한다. 즉, \mathbf{u} , 와의 내적이 양수인 이웃만 선택.

- 축 방향 $(1, 0)$: $(1, -1), (1, 0), (1, 1)$ 로 3분기.
- 축 방향 $(0, 1)$: $(-1, 1), (0, 1), (1, 1)$ 로 3분기.
- 대각 $(1, 1)$: $(1, 1), (1, 0), (0, 1)$ 로 3분기.

$\mathbf{u}=(1,0)$



$\mathbf{u}=(1,1)$



수신 노드는, $\text{TTL} \leftarrow \text{TTL} - 1$, 후 유효 피어만 골라, $\mathcal{F}_{\mathbf{u}}(\mathbf{p})$, 로 송신하며, 입력 FD는 제외.

7.2a 직관 설명: Δ (델타)와 \mathbf{u} (전진축)

- Δ = “한 칸 이동 후보.”

집합 = $\{(-1,-1), (-1,0), (-1,1), (0,-1), (0,1), (1,-1), (1,0), (1,1)\}$

현재 위치 \mathbf{p} 에서 $\mathbf{p}+\Delta$ 로 1홉 이동한다.

- $\mathbf{u} = (s_x, s_y) = \text{"가고 싶은 큰 방향의 부호."}$
 $s_x, s_y \in \{-1, 0, 1\}$, $(0, 0)$ 은 금지.
 예: $(1, 0)$ =오른쪽, $(0, 1)$ =위, $(-1, 0)$ =왼쪽, $(0, -1)$ =아래, $(1, 1)$ =오른쪽-위 대각.
- 전방 선택 규칙
 점수 = $dxs_x + dys_y$ (여기서 $\Delta = (dx, dy)$)
 - 점수 $> 0 \rightarrow$ 전방 이웃. 보낸다.
 - 점수 $= 0 \rightarrow$ 측면. 전방이 없을 때만 보조로 쓴다 (§7.7).
 - 점수 $< 0 \rightarrow$ 후방. 버린다.
- 전방 예시
 - $\mathbf{u} = (1, 0) \rightarrow$ 허용 $\Delta: (1, -1), (1, 0), (1, 1)$
 - $\mathbf{u} = (0, 1) \rightarrow$ 허용 $\Delta: (-1, 1), (0, 1), (1, 1)$
 - $\mathbf{u} = (1, 1) \rightarrow$ 허용 $\Delta: (1, 1), (1, 0), (0, 1)$
 - $\mathbf{u} = (-1, 0) \rightarrow$ 허용 $\Delta: (-1, -1), (-1, 0), (-1, 1)$
 - $\mathbf{u} = (0, -1) \rightarrow$ 허용 $\Delta: (-1, -1), (0, -1), (1, -1)$
 - $\mathbf{u} = (-1, -1) \rightarrow$ 허용 $\Delta: (-1, -1), (-1, 0), (0, -1)$
- 요약: \mathbf{u} 는 "전진축", Δ 는 "한 걸음". $dxs_x + dys_y > 0$ 인 걸음만 전송한다.

7.3 TTL 설정(격자 대각 기반)

격자 한 변, $S = \lceil \sqrt{N} \rceil$, 전체 대각 길이

$$D = \sqrt{(S-1)^2 + (S-1)^2}.$$

지향성 가십의 TTL은

$$\text{TTL} = \max(3, \lfloor \rho \cdot D + 0.5 \rfloor), \quad \rho \in (0, 1], \text{ 기본 } \rho = 0.8.$$

7.4 메시지 형식

- `op3="sx, sy"` : 방향 벡터, \mathbf{u} .
- `ttl` : 위 식의, TTL.
- `messageId` : 고유 식별자.
- `payload` : 송신자 상태.

7.5 결정론 시작 방향 선택

발신 노드가 자기 8이웃 중 선택한 시작 이웃 $(c_{\text{nbr}}, r_{\text{nbr}})$ 에 대해

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} \text{sign}(c_{\text{nbr}} - c_{\text{self}}) \\ \text{sign}(r_{\text{nbr}} - r_{\text{self}}) \end{bmatrix}.$$

선택 정책(라운드로빈, 해시 최소 등)을 고정하면 동일 입력에서 **결정론적** 시작 방향이 재현된다.

7.6 중복 억제

각 노드는, `messageId`, 또는 `(header, op3, payload)` 해시로 최근 수신 집합을 유지하고 중복 패킷을 드롭한다. 동일 첫 홉을 공유하는 분기는 송신 측에서 하나만 남긴다.

다음 보강 블록들을 그대로 붙여 넣어라. 기존 번호 체계를 유지하려면 §7 뒤에 순서대로 추가하라.

7.7 경계·결손 노드 처리

격자 경계 또는 결손(빈 셀)에서 전방 이웃이 비면 전파를 중단하지 않고 **대체 전방 집합**을 선택한다.

$$\mathcal{F}_{\mathbf{u}}^*(\mathbf{p}) = (\mathcal{F}_{\mathbf{u}}(\mathbf{p}) \cap \mathcal{V}) \cup \{ \mathbf{p} + \boldsymbol{\delta} \mid \boldsymbol{\delta} \in \mathcal{N}_8, \boldsymbol{\delta} \cdot \mathbf{u} = 0, \mathbf{p} + \boldsymbol{\delta} \in \mathcal{V} \}$$

여기서 \mathcal{V} 는 유효 노드 집합이다. 즉, 우선 전방($\boldsymbol{\delta} \cdot \mathbf{u} > 0$)을 사용하고, 없을 때만 **측면**(= 0)을 보조로 사용한다.

7.8 종료 조건과 루프 방지

모든 패킷은 단조 감소하는 TTL과 최근 수신 집합으로 루프를 막는다.

$$\text{TTL} \leftarrow \text{TTL} - 1, \quad \text{if } \text{TTL} \leq 0 \text{ then drop.}$$

최근 수신 집합 \mathcal{R} 에 대해

$$\text{if } \text{messageId} \in \mathcal{R} \text{ then drop, else } \mathcal{R} \leftarrow \mathcal{R} \cup \text{messageId.}$$

전방 선택은 $\delta \cdot \mathbf{u} \geq 0$ 만 허용하므로 **역방향 전파**가 구조적으로 배제된다.

7.9 도달률 하한(커버리지)와 TTL 하한

격자 변 S , 대각 길이 $D = \sqrt{2}, (S - 1)$. 이상적 전방 분산에서 부채꼴 축 방향 진행 기대치는 D 에 비례한다. $\rho \in (0, 1]$ 에 대해

$$\text{TTL}_{\min} = \max(3, \lfloor \rho D + 0.5 \rfloor)$$

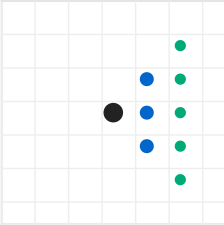
을 쓰면, 장애 비율이 $\leq (1 - \rho)$ 인 균질 환경에서 부채꼴 전선의 **도달률 하한**이 유지된다. ρ 를 늘리면 커버리지 \uparrow 대역비용 \uparrow .

7.10 파라미터 튜닝 지침

- 팬아웃 상한: 각 홉 송신수 ≤ 3 유지. 필요 시 **샘플링 확률** $p \in (0, 1]$ 도입.

$$\mathbb{E}[M_{\text{dir}}] \approx 3p \text{TTL}.$$

TTL = 3 이웃 커버리지



- ρ : 평시 0.6! to 0.8, 장애 구간 감지 시 일시적으로 0.9 이상.
- 최근 집합 크기: 원도 길이 $W \geq \text{TTL}$ 로 설정.

7.11 보안·검열 회피 고려

- 방향 고정 공격 완화: 시작 방향 \mathbf{u} 를 **결정론적**이되 **라운드 시드**로 주기 갱신.

$$\mathbf{u}_t = \text{choose}(\mathcal{N}_8 \setminus (0, 0); \text{seed}_t, \mathcal{N}_8),$$

동일 라운드 입력에 대해 전 노드가 같은 \mathbf{u}_t 를 재현한다.

- 헤더 위·변조 검출: (op3, ttl, payload) 에 대한 경량 MAC 첨부.

7.12 성능 상한과 기대치 정리

총 송신 상한:

$$M_{\text{dir}} \leq 3 \text{TTL}, \quad \text{TTL} \leq \rho \sqrt{2} (S - 1) = \Theta(\sqrt{N})$$

전역 중복 포함 절댓값의 보수 상한은

$$M_{\text{dir}}^{\text{dup}} \leq 3N$$

이지만, 최근 집합과 측면 대체 규칙으로 실측은 , $\Theta(\sqrt{N})$, 에 근접한다.

7.13 호환성: 경로 전파와의 병행 운용

동일 메시지 ID에 대해 **경로 전파(s6)** 를 우선, 지향성 가십은 **타임아웃 T_{fallback} 후 보조 가동**:

if not delivered by T_{fallback} \Rightarrow start directional gossip with $\text{TTL} = \text{TTL}_{\text{min}}$.

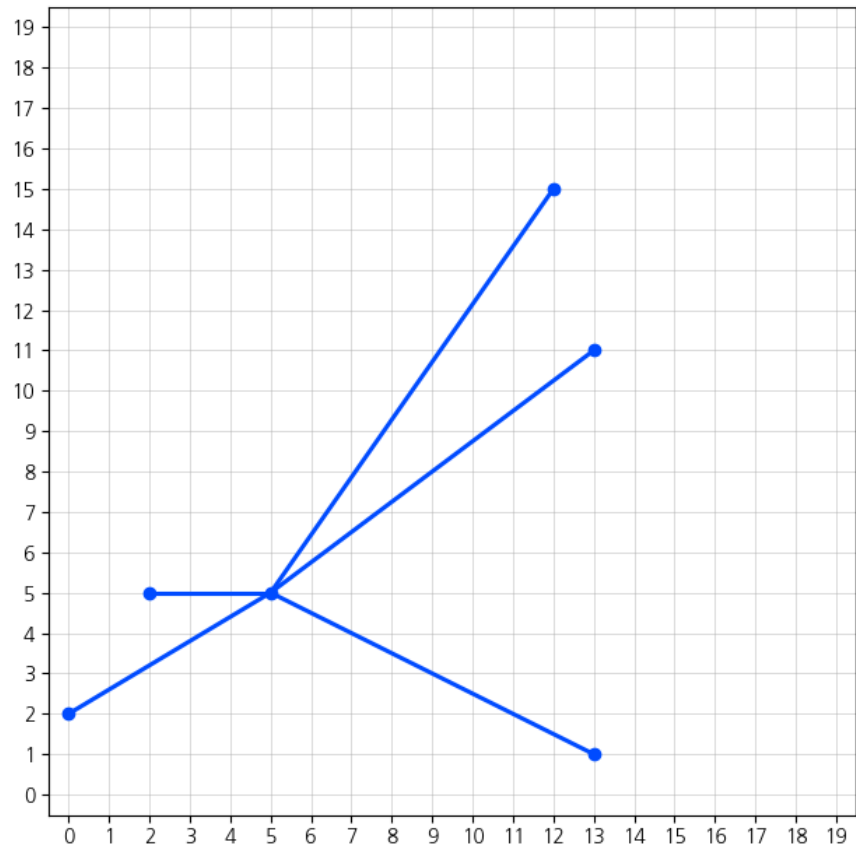
증폭 방지를 위해 송신 측은 **동일 첫 홉** 중복을 제거한다.

8. 지향성 가십의 효과

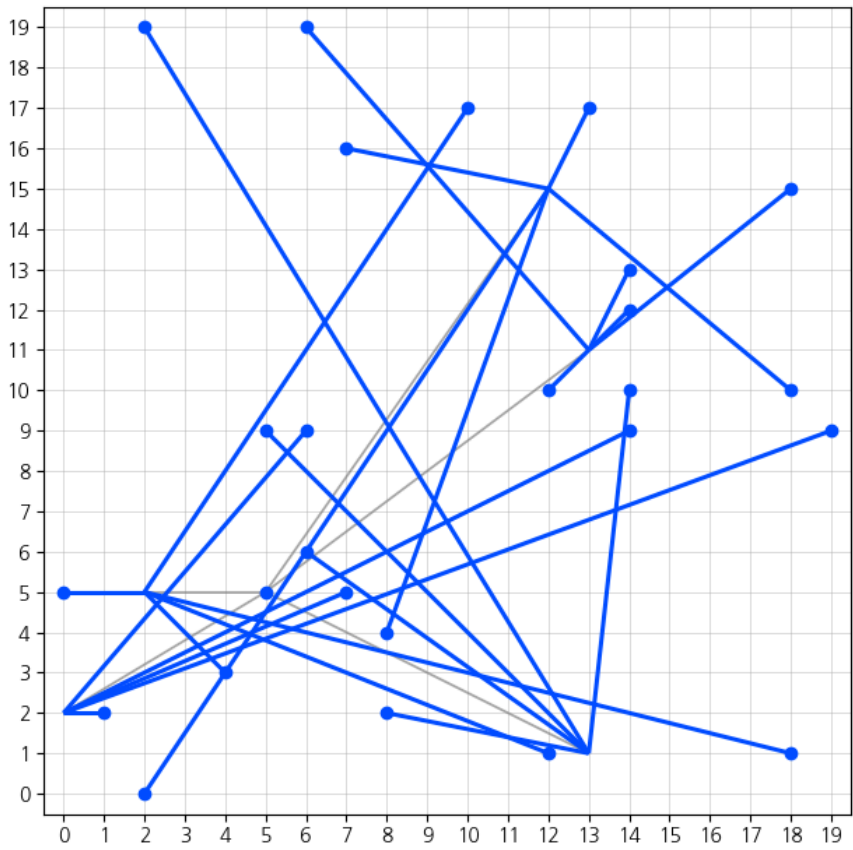
- **경로 다양성**: 8방향 중 선택된 , **u**, 기준 **부채꼴 전방 3분기**로 검열·혼잡 회피 확률 상승.
- **결정론성**: 격자 사상과 시작 방향 정책 고정으로 재현 가능.
- **단순성**: 조건 , $\delta \cdot \mathbf{u} > 0$, 만으로 전방 선별.

8.1. 일반적인 gossip 전파

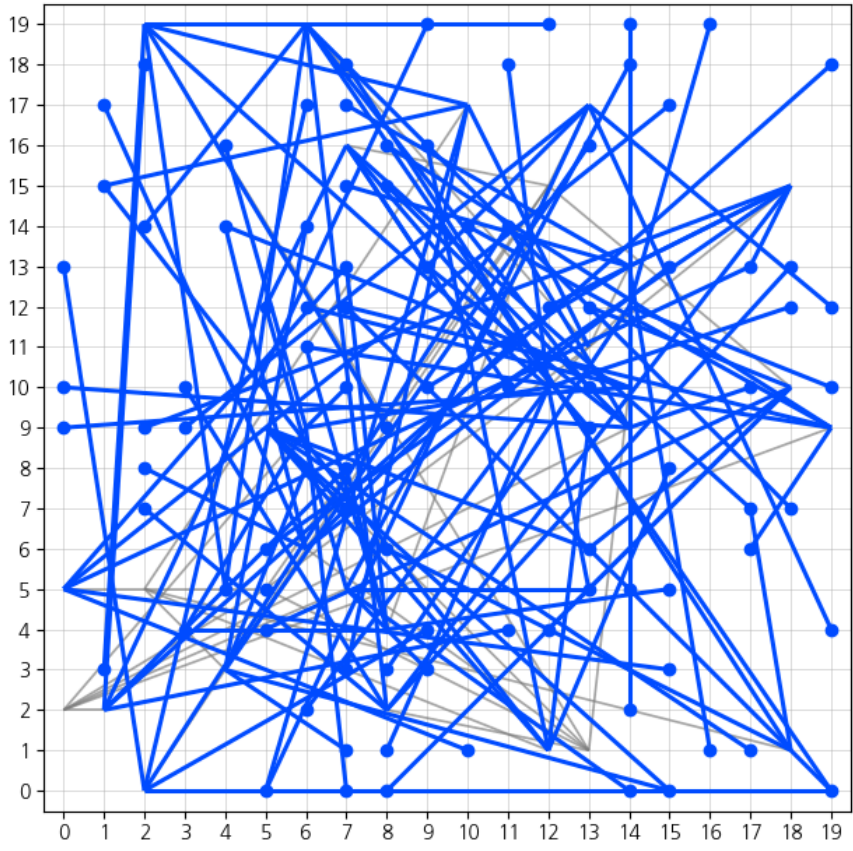
일반 gossip ttl = 1



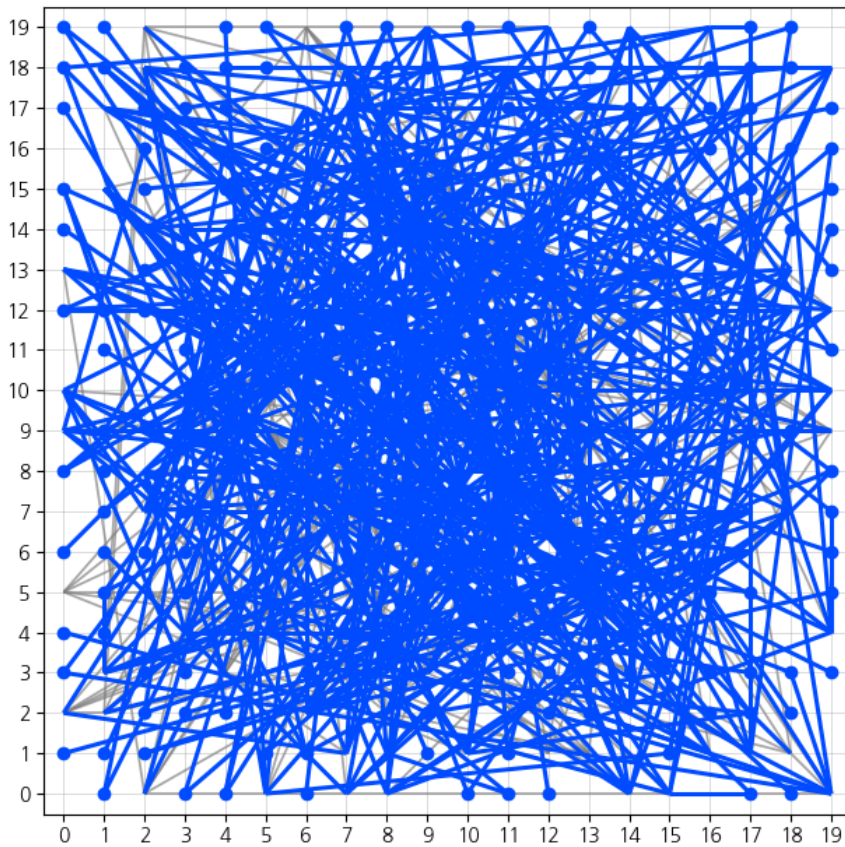
일반 gossip ttl = 2



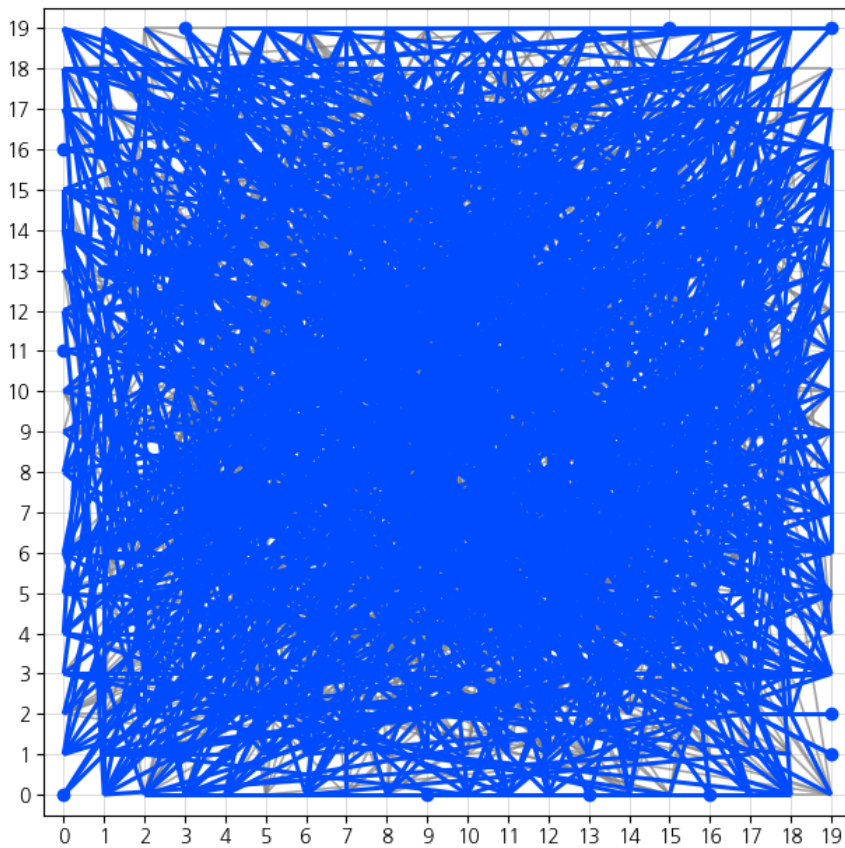
일반 gossip ttl = 3



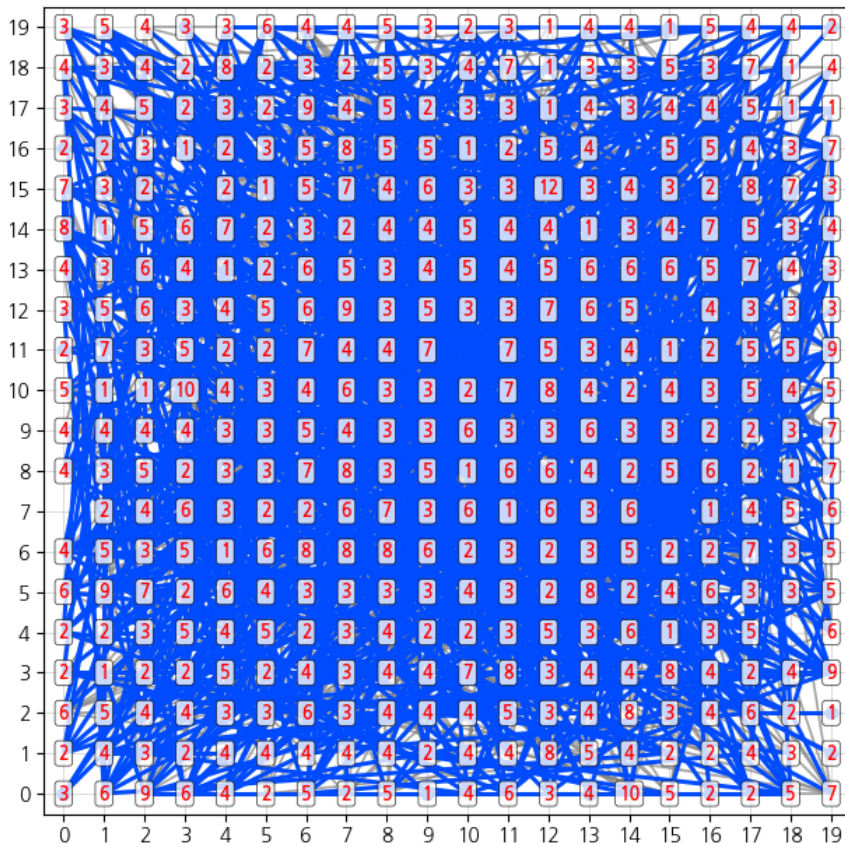
*일반 gossip ttl = 4



일반 gossip ttl = 5



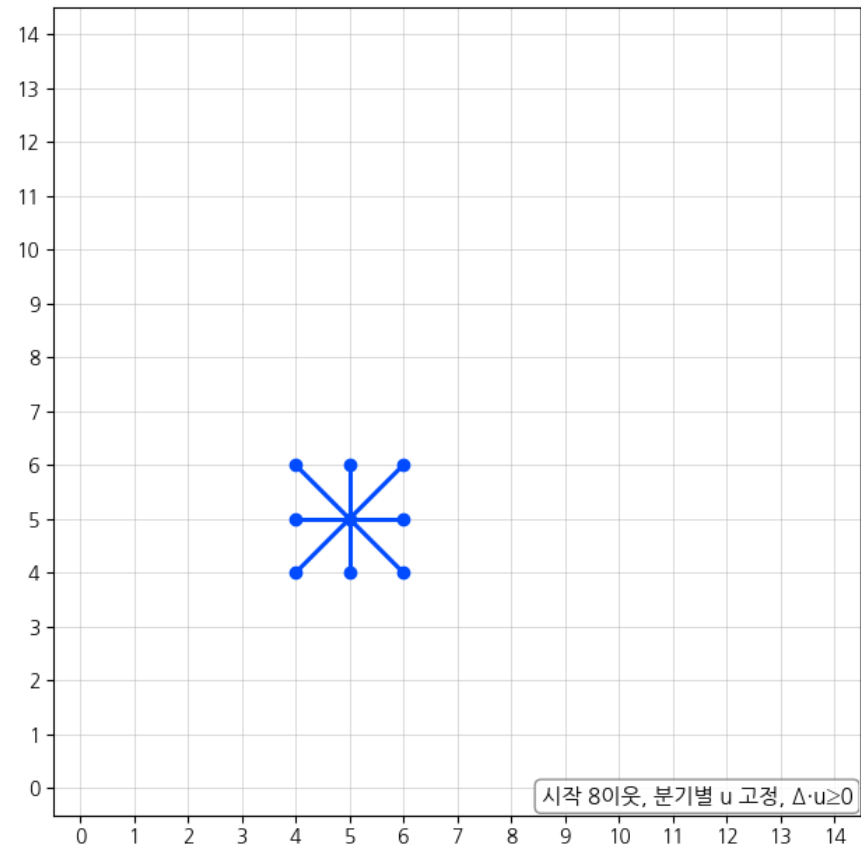
일반 gossip ttl = end



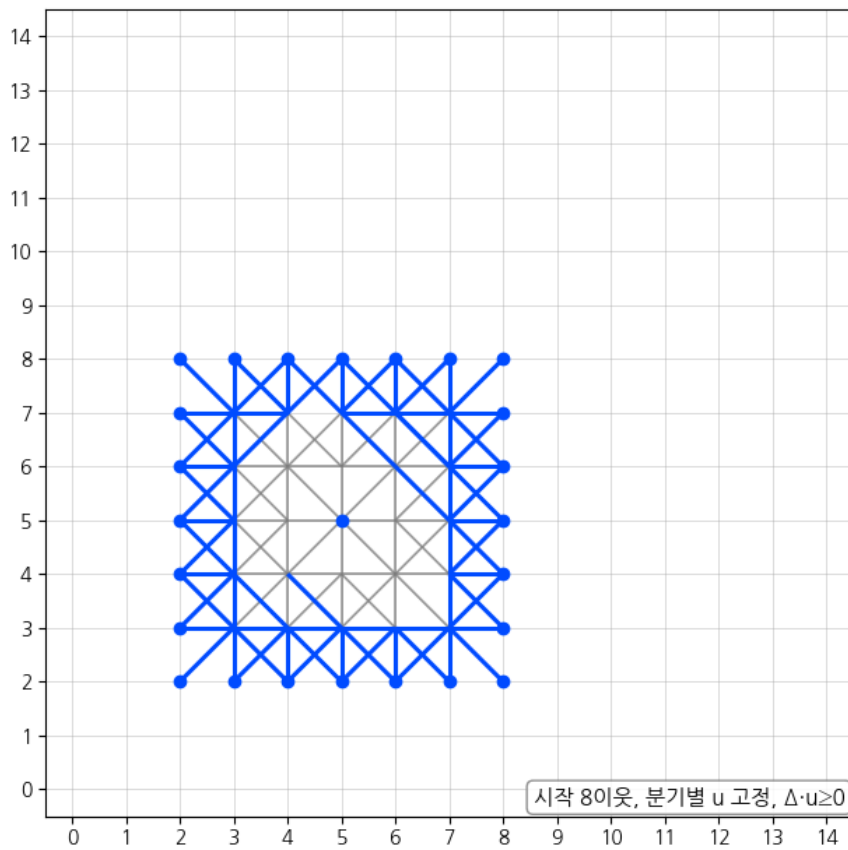
음영구역 발생: 무작위 전파에 가까운 일반적인 가십전파는 필연적인 음영구역 발생.

8.2. 지향성 gossip 전파

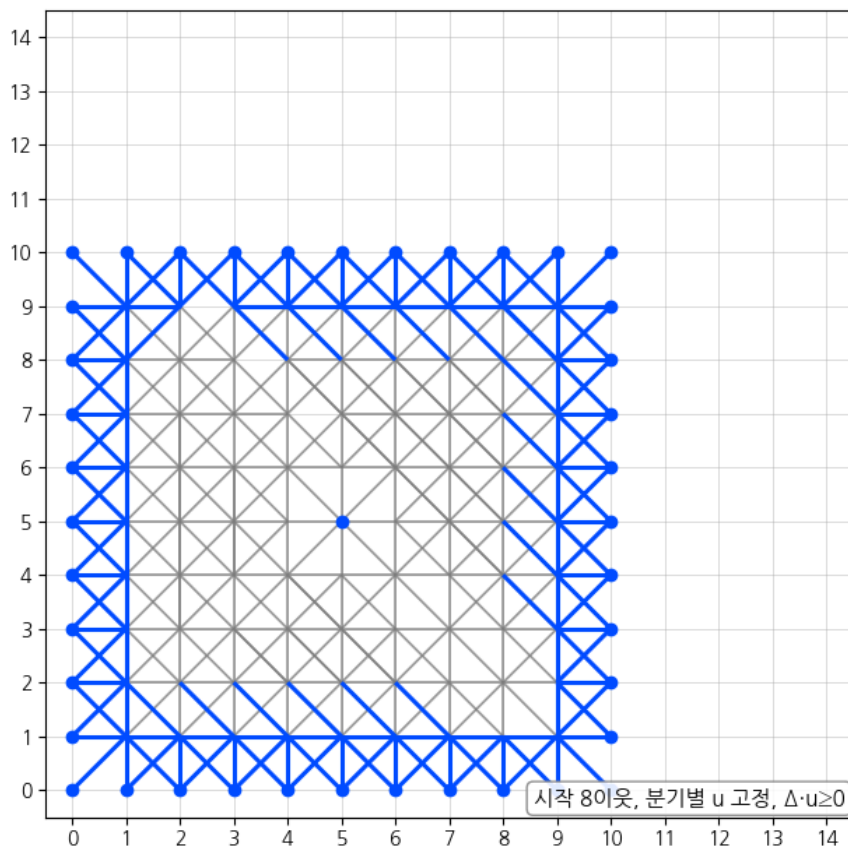
지향성 gossip ttl = 1



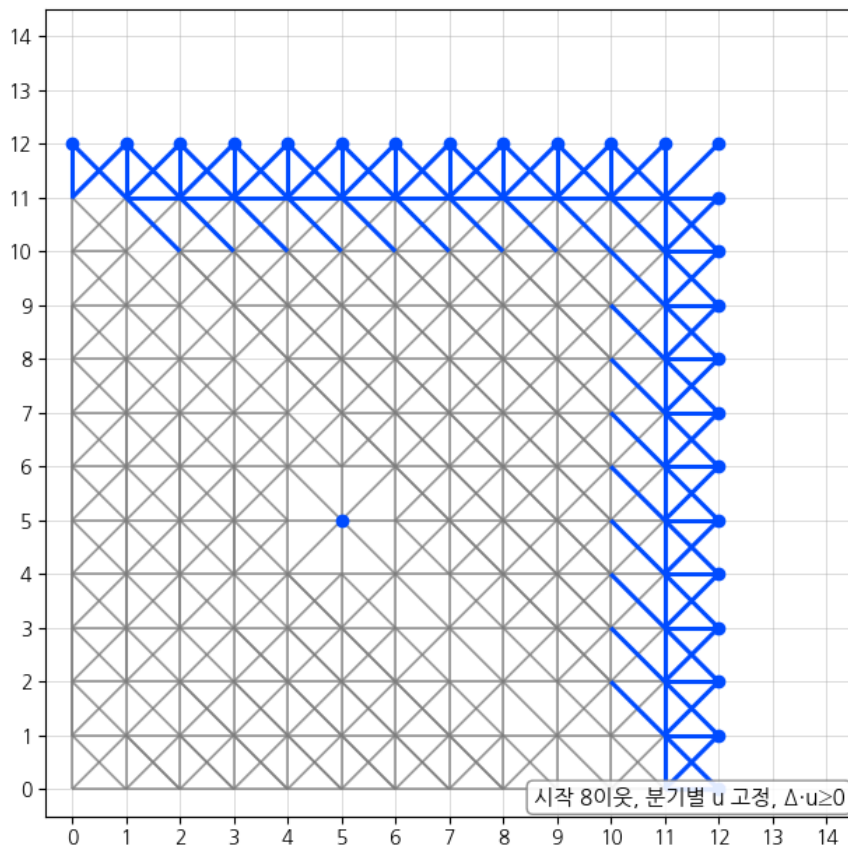
지향성 gossip ttl = 3



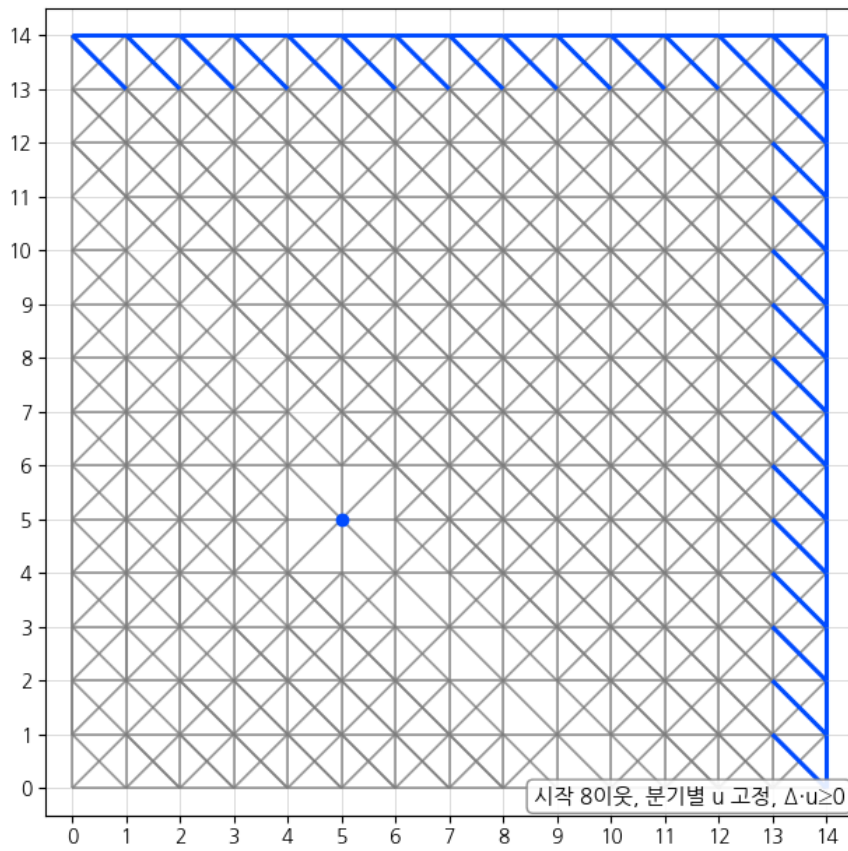
지향성 gossip ttl = 5



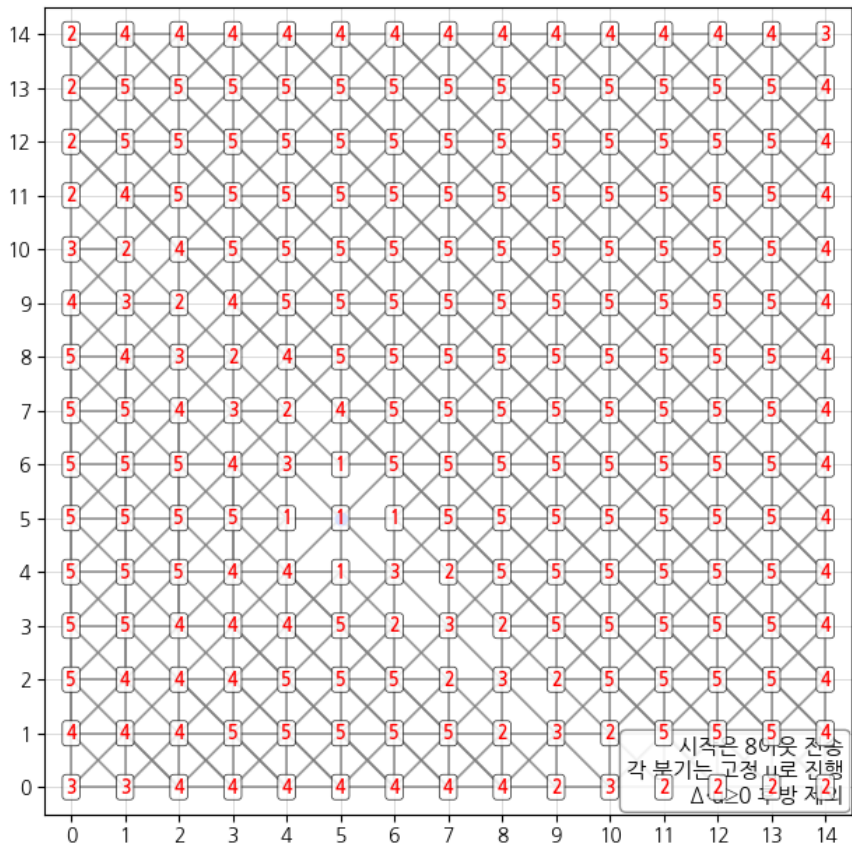
지향성 gossip ttl = 7



지향성 gossip ttl = 11



지향성 gossip ttl = end



치밀하고 체계적인 전파: 각노드는 방향벡터를 기준으로 전파방향을 설정, 역전파 중복전파 등이 최소화 됨.

9. 경로 내장 전달과 중복 억제

메시지는 **전체 경로와 길이**를 포함하고 각 홉은 **자기 다음 노드**로만 전진한다.
 송신 측은 세 경로의 **첫 번째 다음 홉**이 같으면 하나만 남긴다.
 수신 측은 **최근 본 식별자** 또는 **경로·내용 해시**로 중복을 억제한다.
 이중 억제는 증폭을 막으면서 3경로의 **도달성 이점**을 유지한다.

10. 장애와 혼잡 상황에서의 동작 이유

좌·우 편향 경로는 **기하학적으로 분리된 통로**를 제공한다.
 편향 경로는 격자 위 **두 구간 최단**의 합성이어서 불필요한 우회가 작다.
 $|k|$ 가 커지면 경로 상관성이 낮아져 **검열·혼잡 회피**에 유리하지만 지연은 증가한다.
 기본적으로 $t = \frac{1}{2}$ 가 균형 잡힌 분산을 준다.

11. 실시예

동일 시드·주소 집합이면 모든 노드가 **동일 격자 배치**와 **동일 3경로**를 재현한다.
 편향 강도 $|k|$ 를 조절하면 좌·우 경로의 분산 폭이 달라진다.
 격자 끝 빈 칸은 자동 회피되며, 편향 중간점이 빈 칸이면 **근접 유효 셀 대체**로 경로 생성을 지속한다.
 기본값은 $t = 0.5, \alpha = 0.6, k, \|\mathbf{d}\|$ 이다.

12. 산업상 이용가능성

- AI 분산노드**: 분산네트워크 환경에서 AI노드간의 통신.
- 블록체인 합의**: 투표·검증 신호를 3경로로 동시 전파해 정족수 도달 안정성을 높인다.
- 공개 피어 전파**: 꼬리 지연과 실패율을 낮춘다.
- 사물망·현장망·애드혹망**: 간섭·단절에도 즉시 우회한다.
- 오버레이·서비스 메시**: 하부망과 무관하게 응용 계층에서 경로를 고정·내장한다.

운영 가이드: 시드는 라운드/시간 단위로 고정해 **동일 격자**를 재현한다.
편향 강도 k 는 지연 중심이면 작게, 내결함성 중심이면 크게 정한다.
송신·수신 양단 억제로 **중복 최소화**. 메시지 길이는 **경로 길이와 동일**로 설정해 루프를 차단한다.

13. 성능과 복잡도

격자 면적은 S^2 이고, 최단 탐색의 시간 복잡도는 대략 $O(S^2)$ 이다.
본 발명에서 제시하는 방법으로 세 경로 산출은 최단 1회와 편향 각 2회의 두 구간 결합으로 **상수배** 비용 증가에 그친다.

13.1 모델

- 지향성 가십 길이 척도: $D = \sqrt{2} (S - 1) = \Theta(\sqrt{N})$.
- TTL 상한: $TTL \leq \rho D$.

13.2 경로 내장 3-경로 전파(§6, §7 연계)

- 경로 수: 3.
- 경로 길이: 각 $\Theta(\sqrt{N})$.
- 총 송신 수: $M_{\text{path}} \approx 3D = \Theta(\sqrt{N})$.
- 중복 없음. 지연: $\Theta(\sqrt{N})$ 홉.

13.3 지향성 가십(§14 연계)

- 각 홉 전방 이웃 ≤ 3 만 1회 송신.
- 총 송신 수 상한: $M_{\text{dir}} \leq 3N = \Theta(N)$.
- 중복은 최근 ID로 억제. 지연: $\Theta(\sqrt{N})$ 홉.

13.4 전통 가십(비교 기준)

- 팬아웃 $g \geq 2$, 라운드 수 $\Theta(\log N)$.
- 총 송신 수(중복 포함): $M_{\text{epi}} = \Theta(g N \log N)$.

13.5 정량 예시

$N = 10^4$, $\rho = 0.8$, $g = 3$ 가정.

- $D \approx 0.8 \cdot \sqrt{2} \cdot (100 - 1) \approx 112$.
- 경로 전파: $M_{\text{path}} \approx 3D \approx 336$.
- 지향성 가십: $M_{\text{dir}} \leq 3N = 30,000$.
- 전통 가십: $M_{\text{epi}} \approx g N \log_2 N \approx 3 \cdot 10^4 \cdot 13.3 \approx 399,000$.

13.6 비용·지연 트레이드오프

- 대역 효율: $M_{\text{path}} \ll M_{\text{dir}} < M_{\text{epi}}$.
- 도달성/내결함성: 전통 \geq 지향성 $>$ 경로.
- 지연: 전통 $O(\log N)$, 경로·지향성 $O(\sqrt{N})$.
- 재현성/제어성: 경로·지향성은 결정론적, 전통은 비결정적.

13.7 운용 권고

- 평시: **경로 3개**로 전역 신호 전달(대역 최소).

- 장애·검열 구간 탐지 시: **지향성 가십** 보조 활성화로 커버리지 확보.
- 전통 가십은 피크·중복 비용이 커 상시 운용 비권장.

14. 청구항

청구항 1

결정론 정렬·정방 격자 사상을 수행하고, 격자 여덟 이웃 그래프에서 최단 경로 \mathcal{P}_0 를 산출하며, **진행측 정렬-로컬 법선 평행이동-역정렬** 변환을 통해 편향 중간점 $\hat{\mathbf{p}}_m$ 을 생성하고, 시작-중간점, 중간점-목표의 두 구간 최단을 연결하여 좌·우 편향 경로 \mathcal{P}_{\pm} 를 생성한 뒤, 이를 \mathcal{P}_0 와 함께 제공하는 다중 경로 라우팅 방법.

청구항 2

편향 중간점이 비어 있거나 유효하지 않을 때 반경 확장으로 근접 유효 셀을 대체 선택하여 편향 경로 생성을 유지하는 방법.

청구항 3

메시지에 전체 경로와 길이를 포함하여 각 홉에서 다음 노드로만 전진하도록 하여 루프를 억제하고 경로 재현성을 확보하는 방법.

청구항 4

송신 측에서 첫 번째 다음 홉이 같은 경로를 제거하고, 수신 측에서 최근 본 식별자 또는 경로·내용 해시로 중복을 억제하여 네트워크 증폭을 방지하는 방법.

청구항 5

연속 공간의 로컬·법선 평행이동 편향을 격자 반올림과 두 구간 최단 결합으로 이산화하여, 현실 네트워크 제약을 만족하면서 경로 다양화를 실현하는 방법.

청구항 6

상기 방법을 수행하기 위한 저장매체 또는 장치.

청구항 7

공통 시드와 각 피어 주소에 대해 $h_p = \text{computeThreshold}(\text{ip}(p), \text{seed})$ 를 산출하고, 정렬 키 $(h_p, \text{ip}(p))$ 를 **오름차순 사전식**으로 정렬한 결과를 격자에 배치함으로써, 상기 정렬 및 배치가 **모든 노드에서 동일한 토폴로지**를 재현하도록 하는 방법.

청구항 8

격자 좌표에서 방향 부호 벡터 $\mathbf{u} \in -1, 0, 1^2 \setminus (0, 0)$, 를 메시지에 내장하고, 각 홉에서 여덟 이웃 $\mathcal{N} * 8$, 중 내적이 양수인 전방 이웃

$$\mathcal{F}_{\mathbf{u}}(\mathbf{p}) = \mathbf{p} + \boldsymbol{\delta} \mid \boldsymbol{\delta} \in \mathcal{N}_8, \boldsymbol{\delta} \cdot \mathbf{u} > 0$$

으로만 전달하는 지향성 가십 전파 방법.

청구항 9

격자 한 번 S , 에 대해

$$\text{TTL} = \max\left(3, \lfloor \rho\sqrt{2}(S-1) + 0.5 \rfloor\right)$$

로 TTL ,을 설정하여 과전파를 억제하면서 전역 도달성을 확보하는 방법.

청구항 10

발신 노드가 이웃 선택 정책을 결정론적으로 적용해 시작 방향 \mathbf{u} , 를 산출하고, 동일 입력에 대해 네트워크 전체에서 동일한 전파 부채꼴을 재현하는 방법.

청구항 11

수신 노드가 최근 수신 집합 기반 중복 억제를 수행하고, 송신 노드가 동일 첫 홉을 공유하는 분기 중 하나만 송신하도록 하여 증폭을 방지하는 방법.

15. 업계 한계와 본 기술의 가치

15.1 기존기술의 문제

- 경로가 매번 달라 재현 불가. 테스트와 감사가 어렵다.
- 중간 노드 판단 의존. 혼잡 시 경로 흔들림과 루프 발생.
- 가십 전파 남발. 대역·CPU 낭비와 꼬리 지연 확대.
- 우회 설계 부족. 검열·부분 장애 시 전달 실패 다발.

15.2 본 기술이 푸는 난제

- **결정론적 토폴로지**: 모두가 같은 바둑판, 같은 순서. 결과가 항상 같다.
- **내장 경로 3개**: 최단 1 + 우회 2. 한쪽이 막혀도 도착한다.
- **한 칸 전진 규칙**: 중간 판단 제거. 루프 차단. 구현 단순.
- **지향성 가십**: 필요 시 앞쪽으로만 빠르게 확산. 대역 통제 가능.

15.3 핵심 장점

- **대역 절감**: 평시 전파량이 전통 가십 대비 한 자리수 수준.
- **지연 안정**: 경로가 고정되어 지터 감소. 꼬리 지연 축소.
- **운영 단순화**: 시드만 맞추면 전 노드가 동일 동작.
- **감사 용이**: 재현 가능 경로로 원인 추적이 쉽다.
- **장애 내성**: 검열·부분 단절·혼잡에서도 성공률 유지.

15.4 쉬운 설명

1. 같은 시드로 같은 순서 목록 생성.
2. 그 순서대로 바둑판 칸 채움.
3. 기본 길 하나와 좌·우 우회 길 둘을 미리 생성.
4. 메시지에 그 길을 넣고 다음 칸으로만 보냄.
5. 기존 가십전파의 과도한 트래픽을 지향성 전파로 해결할수있음.

15.5 효과를 체감하는 곳

- **AI 노드**: AI 노드간의 통신, 분산네트워킹.
- **블록체인 합의**: 투표·검증 신호의 정족수 도달 안정.
- **퍼블릭 피어망**: 새 블록·헤더 전파 꼬리 지연 감소.
- **엣지·사물망**: 간헐적 단절에서도 즉시 우회.
- **서비스 메쉬**: 상위에서 경로 고정. 하부망 변화와 분리.

15.6 현장 응용

- 시드는 라운드 단위로 고정.
- 우회 강도는 목표에 맞춰 조정.
- 평시엔 3경로만. 실패 감지 시 지향성 가십을 짧게 가동.
- 첫 홉 중복 제거와 최근 수신 집합 상시 유지.

16. 결론

본 발명은 **결정론 격자, 로컬-범선 평행이동 기반 아핀 편향, 경로 내장형 전달**을 결합해, 어디서 계산해도 **동일한 3경로**를 재현한다. 메시지는 다음 노드로만 전진하므로 루프가 구조적으로 차단되고, 혼잡·검열·부분 장애에서도 도달성과 안정성을 확보한다.

더불어 **지향성 가십**은 전통 가십의 과도한 트래픽과 꼬리 지연 문제를 해결한다. 전방 이웃만 선택해 퍼지므로 매 홉 팬아웃이 최대 3으로 제한되고, **필요할 때만 짧게 가동**해 네트워크 스파이크를 억제한다. 평시에는 **내장 3경로**로 대역을 절감하고, 실패나 장애가 감지될 때만 지향성 가십을 보조로 붙여 **커버리지와 도달률**을 끌어올린다. 결과적으로 본 기술은 **예측 가능성(재현성), 비용 효율(대역·CPU 절감), 지연 안정(지터·꼬리 감소), 내결함성**을 동시에 제공한다.