Геометрическая волновая инженерия

Двухсенсорное геометрическое кодирование направления ЭМ источника псевдогиперболоидной полостью

Maxwell/FDTD-аудит

Хаустов Владимир Игоревич

ORCID: 0009-0007-3657-2309

Лаборатория геометрической волновой инженерии https://vihrihaosa.ru/

Лицензия: CC BY 4.0

Дата публикации: 22 июля 2026 года

DOI: 10.5281/zenodo.21497205

Научно-технический перевод с английского языка.

Редакция, адаптированная для русскоязычного инженера-исследователя.

Оригинал: Khaustov. V. Geometric Wave Engineering: Geometry-Encoded Electromagnetic Direction Finding with a Pseudohyperboloidal Cavity. https://doi.org/10.5281/zenodo.21497205

Аннотация

Настоящий отчёт фиксирует научный и технический приоритет предлагаемой архитектуры геометрически кодированного определения направления на источник электромагнитного излучения, основанной на металлической псевдогиперболоидной (PHB) полости. Концепция относится к исследовательской программе Геометрической волновой инженерии, в которой геометрия границы рассматривается как самостоятельная переменная обработки волн. PHB формируется гиперболическими меридиональными профилями, смещёнными относительно оси вращения. Точечные фокусы каждой меридиональной гиперболы при вращении образуют два внешних фокальных кольца. Эти кольца являются геометрическими множествами, а не источниками, датчиками или материальными включениями. Рабочая гипотеза состоит в том, что гиперболическое распределение нормалей границы и многократные отражения способны создавать привилегированные внутренние волновые положения, связанные с вращённой фокальной геометрией. Предлагаемый трёхмерный приёмник должен содержать множество независимо считываемых датчиков на экваториальном кольце и определять направление по многоспектральной комплексной сигнатуре поля.

В отчёте независимо проверены три расчётные серии настоящей работы; устаревшие поисковые серии низкого разрешения исключены. Согласованная серия PHB–linear содержит 90 независимых одночастотных двумерных Maxwell/FDTD-расчётов при Resolution 36. Серия причинных контролей содержит 243 расчёта для PHB, буквального линейного контроля и гладкого негиперболического контроля равной площади по девяти углам и девяти частотам; две временные контрольные точки дают 486 строк измерений. Более поздняя проверка при Resolution 80 сравнивает PHB с пустым пространством и гладким равноплощадным контролем на частоте f=1.8 для трёх общих углов падения; дополнительно имеется только PHB-кандидат на резонанс при -3.75 градуса.

Проверяются четыре фальсифицируемых проявления предполагаемого фокального свойства: усиление поля около двух меридиональных уровней y=±R, сильная углозависимая перестройка поля, перенос энергии между верхним и нижним фокально связанными положениями и различимый двухсенсорный амплитудно-фазовый код. Причинная серия Resolution 36 выявляет PHB-специфический кандидат фокальной концентрации при f=1.8: на поздней контрольной точке среднее отношение фокальной плотности к центральной равно 33.803 против 2.343 у гладкого равноплощадного контроля и 0.498 у линейного контроля. То же PHB-состояние формирует монотонный зеркально-симметричный амплитудный код от -30 до +30 градусов. Локальный сегментный декодер восстанавливает слепые подписанные углы со средней абсолютной ошибкой 1.149 градуса без шума, 1.578 градуса при 20 dB и 3.014 градуса при 10 dB на ранней контрольной точке. Однако все три геометрии не проходят заявленный тест временной сходимости, а гладкий контроль становится конкурентоспособным на поздней точке.

При Resolution 80 пустой эталон численно устойчив. Для более строгого сохранённого снимка PHB увеличивает сумму модулей двух сенсоров относительно пустого пространства в 3.59, 2.27 и 2.38 раза при -15, -11.25 и -7.5 градуса соответственно. При -15 градусах PHB даёт нормированное по площади фокальное обогащение G_foc=1.166, тогда как гладкий равноплощадный контроль даёт 0.657; отношение PHB/smooth равно 1.78. Это наиболее сильное текущее причинное свидетельство того, что y=±R являются привилегированными волновыми положениями в PHB. Вместе с тем последовательные CW-решения полостей недостаточно сошлись: амплитуды, фазы, энергии и пространственные профили могут существенно изменяться между запрошенными допусками. Поэтому большой PHB-отклик

при -3.75 градуса классифицируется как неподтверждённый резонансный кандидат, а не как доказательство.

Проверенные данные подтверждают существование пассивной геометрически кодированной информации о пеленге и дают предварительную, зависящую от частоты и угла поддержку механизма фокальной организации РНВ. Они пока не доказывают исключительную причинность точной гиперболической образующей, численную сходимость, полноценное трёхмерное восстановление азимута и угла места, измерение дальности или аппаратную эффективность. Необходимые следующие этапы: независимая CW-сходимость, временное подтверждение, повтор при Resolution 120, зеркальные положительные углы и полная 3D-верификация кольца.

Ключевые слова: *геометрическая волновая инженерия; псевдогиперболоид; внешние фокальные кольца; направление прихода; электромагнитный пеленг; аналоговая волновая обработка; MEEP; FDTD; двухсенсорный код; фокальное обогащение.*

Содержание

Аннотация....2
Заявление о научном приоритете и границы утверждения....5
Ключевые выводы независимого аудита....5
1. Геометрическая волновая инженерия....5
2. Геометрия псевдогиперболоида и внешние фокальные кольца....6
2.1. Меридиональное определение....6
2.2. Внешние фокальные кольца....7
3. Фальсифицируемая гипотеза фокального свойства....7
4. Предлагаемая трёхмерная пеленгационная архитектура....8
5. Двухсенсорная двумерная модель верификации....8
5.1. Энергетические метрики....8
6. Расчётные протоколы и проверенные наборы данных....9
7. Независимый аудит целостности и геометрии....9
8. Согласованные сравнительные результаты Resolution 36....10
9. Результаты причинного контроля Resolution 36....11
9.1. PHB-специфический кандидат при f=1.8....12
9.2. Характеристики декодера направления....13
9.3. Отсутствие временной сходимости....14
10. Фокально связанная проверка Resolution 80....15
10.1. Интерпретация по углам....16
10.2. Чувствительность CW-решения к допуску....18
11. Комплексная оценка четырёх ожидаемых фокальных признаков....19
12. Что установлено и что остаётся открытым....20
12.1. Установлено в проверенной численной области....20
12.2. Пока не установлено....20
13. Воспроизводимость....20
13.1. Основной шаблон команды Resolution 80....21
14. Необходимая программа верификации....21
15. Заключение и фиксация приоритета....22
Литература....22
Приложение A. Точные основные параметры....22
Приложение B. Полная таблица измерений Resolution 80....23
Приложение C. Правила интерпретации....25

Заявление о научном приоритете и границы утверждения

Настоящая публикация является датированным и самодостаточным раскрытием конкретной исследовательской концепции: использования псевдогиперболоидной полости как пассивного геометрически кодирующего входного устройства для определения направления на источник электромагнитного излучения, с будущим трёхмерным экваториальным кольцом независимо считываемых датчиков и двухсенсорной меридиональной Maxwell/FDTD-редукцией в качестве первого этапа верификации.

Приоритетное утверждение охватывает сочетание: (i) конструктивного принципа GWE; (ii) PHB-границы, меридиональные гиперболы которой при вращении порождают два внешних фокальных кольца; (iii) гипотезы о том, что внешне-фокальная геометрия индуцирует привилегированные внутренние волновые положения, хотя сами фокальные кольца непосредственно с полем не взаимодействуют; (iv) распределённой архитектуры экваториального кольца датчиков; (v) комплексной амплитудно-фазовой калибровки и инверсии; (vi) приведённых численных наблюдений.

Это не заключение о патентоспособности, не утверждение об отсутствии близких антенн или полостей и не заявление о готовом радаре. Верифицированная область ограничена двумерной моделью подписанного угла падения. Полный 3D-пеленг, угол места, дальность, поляризационное разнообразие, Доплер, подавление помех, аппаратные потери, технологические допуски и экспериментальная эффективность остаются открытыми.

Ключевые выводы независимого аудита

- Целостность данных: серии Resolution 36 полны (90/90 и 243/243 независимых случаев; 486/486 строк контрольных точек), пропущенных комбинаций геометрия–угол–частота нет.
- Целостность геометрии: PHB и контроли используют одинаковые область, источник, толщину стенки, сенсорные области и способ построения границы. Гладкий контроль согласован с PHB по площади полости с относительной точностью около 5×10^-10 при Resolution 36.
- Кодирование направления: все геометрии формируют измеримую двухсенсорную информацию о направлении. PHB является лучшим по основному локальному сегментному декодеру на ранней контрольной точке V4 в чистом и шумовых тестах, но преимущество зависит от режима.
- Фокальная организация: f=1.8 является сильнейшим PHB-специфическим кандидатом. При Resolution 36 он сочетает высокую концентрацию относительно центра с чистым зеркально-симметричным угловым перераспределением.
- Причинное свидетельство высокого разрешения: при Resolution 80 PHB устойчиво увеличивает локальную загрузку сенсоров относительно пустого пространства; при -15 градусах он также делает полосы y=±R энергетически обогащёнными по площади, тогда как гладкий равноплощадный контроль делает их обеднёнными.
- Главное ограничение: решения полостей пока численно не сошлись. Поэтому результат классифицируется как предварительная верификация фокально связанного механизма, а не окончательное доказательство технологии.

1. Геометрическая волновая инженерия

Геометрическая волновая инженерия (GWE) определяется здесь как систематическая исследовательская программа, в которой форма, распределение кривизны, топология,

отверстия и связность границы рассматриваются как независимые переменные управления волнами. Программа дополняет материальную инженерию: вместо вопроса только о том, какую диэлектрическую или магнитную проницаемость, проводимость либо микроструктуру ввести, ставится вопрос о том, какая геометрия границы способна перестроить распространение до активной обработки.

Основные уравнения поля не изменяются. Новизна ищется в операторе, задаваемом границей. Криволинейная проводящая стенка изменяет локальные нормали отражения, распределения длин путей, связь мод, интерференцию, время удержания и пространственное соотношение синфазных и дифференциальных компонентов поля. В таком представлении полость может действовать как пассивный аналоговый препроцессор, выходом которого является геометрически зависимый пространственный код.

Настоящая технология применяет этот принцип к пеленгации. Искомая наблюдаемая величина — не отдельный луч геометрической оптики, а калиброванное комплексное многообразие поля, создаваемое полным решением уравнений Максвелла. Центральный научный вопрос: формирует ли PHB-граница более полезное, фокально связанное и чувствительное к углу многообразие, чем негиперболические контроли.

2. Геометрия псевдогиперболоида и внешние фокальные кольца

2.1. Меридиональное определение

В проверенных расчётах верхняя граница составлена из левой гиперболической воронки, центрального полутороидального экрана и правой гиперболической воронки; нижняя граница является зеркальным отражением. Для радиальной координаты ρ осевые линии воронок задаются выражениями:

$$x_{left}(\rho) = -a\,[1 + ((R-\rho)/b)^2]^{1/2}, \qquad x_{right}(\rho) = +a\,[1 + ((R-\rho)/b)^2]^{1/2}.$$

Во всей проверенной геометрии используются параметры a=b=0.5, R=2 и входной радиус R_in=0.4. Смещение внешних фокусов и осевая координата вершины равны:

$$c = (a^2+b^2)^{1/2} = 0.7071068, \qquad L = a[1+(R/b)^2]^{1/2} = 2.0615528.$$

При ρ=R горловины находятся при x=±a. Конечные сенсорные области расположены в воздухе около непрерывной правой стенки при x≈a−0.10417 и y=±R. Они не образуют отверстий в металле и не находятся непосредственно на внешних фокальных кольцах.

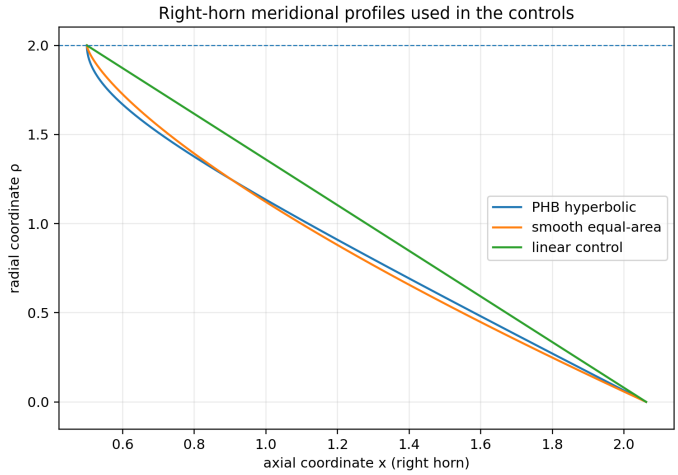

Рисунок 1. Точный гиперболический, гладкий равноплощадный и буквальный линейный профили правой воронки.

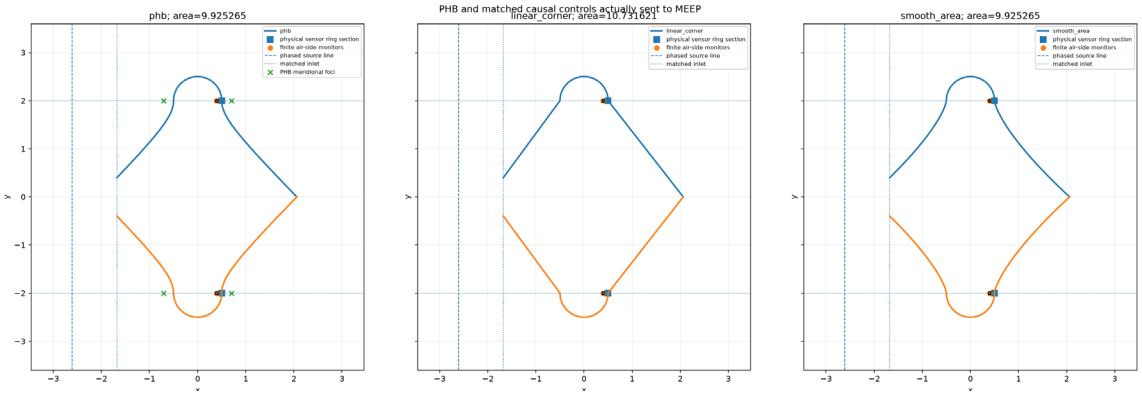

Рисунок 2. Полные двумерные согласованные геометрии причинной контрольной серии.

2.2. Внешние фокальные кольца

Каждый гиперболический меридиональный профиль имеет два точечных фокуса. При вращении смещённого профиля вокруг оси симметрии соответствующие фокальные точки образуют две соосные окружности радиуса R в осевых плоскостях x=−c и x=+c. В знаковом меридиональном сечении каждое кольцо отображается дважды — при y=+R и y=−R, поэтому на чертеже видны четыре фокальные точки.

Фокальные кольца находятся вне рабочего внутреннего объёма и непосредственно не излучают, не поглощают и не измеряют электромагнитную энергию. Их возможное влияние является косвенным: фокальная геометрия определяет касательные и нормали каждой гиперболической меридиональной стенки. Поле Максвелла взаимодействует со стенкой, а не с абстрактным фокусом. Поэтому научно корректная формулировка состоит в том, что вращённая фокальная геометрия может организовывать граничный оператор и интерференционную структуру многократных отражений.

Два сенсорных положения y=±R называются фокально связанными, а не буквальными фокальными датчиками. Они лежат на двух меридиональных уровнях, определяемых радиусом внешних фокальных колец, и считывают верхнее и нижнее пересечения предлагаемого экваториального сенсорного кольца.

3. Фальсифицируемая гипотеза фокального свойства

Предлагаемое фокальное свойство PHB не принимается как доказанное только из лучевой геометрии. Для волновой верификации оно преобразуется в четыре наблюдаемых требования:

1. Усиление поля или энергетическое предпочтение около двух фокально связанных уровней y=+R и y=−R.
2. Сильная перестройка внутреннего поля при изменении угла падения.
3. Перенос энергии между верхним и нижним фокально связанными положениями с обращением при зеркальном падении.
4. Различимый и калибруемый двухсенсорный комплексный амплитудно-фазовый код.

Положительный результат должен превосходить два альтернативных объяснения. Сравнение с пустым пространством проверяет, изменяет ли полость и усиливает ли она локальное поле вообще. Сравнение с гладкой негиперболической полостью равной площади проверяет, связано ли явление именно с гиперболической образующей, а не с любой криволинейной полостью сходного размера.

4. Предлагаемая трёхмерная пеленгационная архитектура

Предлагаемая технология является пассивным аналоговым приёмным фронтендом. Это не обычная фазированная решётка, поскольку падающее поле сначала преобразуется формой полости. В практической системе M независимо считываемых датчиков распределяются по физическому экваториальному кольцу:

$r_n = (a, R\cos\varphi_n, R\sin\varphi_n), \qquad \varphi_n = 2\pi n/M.$

На F частотах измеренные данные образуют комплексный вектор:

$x(\theta,\varphi,r) = [S_1(f_1), \ldots, S_M(f_1), \ldots, S_M(f_F)]^T \in \mathbb{C}^{MF}.$

Калибровка должна построить измерительное многообразие x(θ,φ,r,поляризация). Затем декодер может использовать локальную интерполяцию, matched-field-инверсию, оценку правдоподобия или регуляризованную статистическую модель. Поле на кольце также может быть разложено по азимутальным гармоникам $\Psi(R,\varphi)=\Sigma_m a_m \exp(im\varphi)$, что позволяет разделять синфазные, дифференциальные и более высокие направленные моды.

- Пассивное преобразование волн до оцифровки без активных фазовращателей.
- Высокоразмерное комплексное считывание множеством датчиков и частот.
- Потенциальное восстановление азимута и угла места из пространственного рисунка на кольце.
- Возможная чувствительность к дальности в ближнем поле только после проверки кривизны фронта или широкополосной временной информации.
- Совместимость с активным радаром как приёмной апертурой, при том что настоящая работа проверяет только направление.

5. Двухсенсорная двумерная модель верификации

Двумерный расчёт является необходимой меридиональной редукцией будущего кольца, а не полным 3D-радаром. TE-поляризованный фазированный линейный источник возбуждает слева поле, близкое к плоской волне. Его фазовый наклон кодирует подписанный угол падения θ:

$A(y) = \exp[i\,2\pi f \sin(\theta)\, y].$

Две конечные области 0.05×0.05 со стороны воздуха измеряют комплексное поле H_z около y=+R и y=−R. Для каждой частоты основными наблюдаемыми являются:

$A_{amp} = (|S_+|-|S_-|)/(|S_+|+|S_-|), \qquad \Delta\varphi = \arg(S_+ S_-^*).$

Амплитудная асимметрия показывает доминирующую сторону; относительная фаза даёт независимую интерферометрическую координату. Многоспектральный вектор признаков содержит [A_amp, cosΔφ, sinΔφ] на каждой частоте.

5.1. Энергетические метрики

$u = \tfrac{1}{4}(|H_z|^2 + |E_x|^2 + |E_y|^2).$

$\eta_{foc} = U_{foc}/U_{cavity}, \qquad G_{foc} = \eta_{foc}/(A_{foc}/A_{cavity}).$

Фокальная маска охватывает $|x|\le a$ и $||y|-R|\le 0.08$. Значение $G_{foc}>1$ означает, что эти полосы содержат больше энергии, чем следует из их доли площади; $G_{foc}<1$ означает их обеднение. Эта нормированная по площади метрика содержательнее отдельного локального максимума, но всё равно зависит от заявленной маски.

6. Расчётные протоколы и проверенные наборы данных

Таблица 1. Состав расчётов, включённых в отчёт.

Набор	Resolution	Модели	Углы	Частоты	Состав
A / согласованный linear-скрининг	36	PHB; linear	9	5	90 независимых случаев
B / широкополосный причинный контроль	36	PHB; linear; smooth равной площади	9	9	243 случая; 486 строк контрольных точек
C / проверка высокого разрешения	80	empty; PHB; smooth равной площади	3 общих; PHB также −3.75°	1 (f=1.8)	10 завершённых случаев

Серия A использует пять частот f={1.6,1.8,2.0,2.2,2.4}, пять калибровочных углов {-30,-15,0,15,30} градусов и четыре слепых тестовых угла {-22.5,-7.5,7.5,22.5} градуса. Каждая пара угол–частота является независимым запуском MEEP.

Серия B расширяет частотную сетку до 1.6–2.4 с шагом 0.1 и добавляет гладкий равноплощадный контроль. Измерения сохранены в контрольных точках после источника t=90 и t=180. Включены четыре декодера, однако основным считается локальный segment-декодер, поскольку для 27 признаков имеются только пять калибровочных углов.

Серия C использует непрерывно-волновой решатель при Resolution 80, f=1.8 и два последовательных запрошенных допуска: 10^-6, затем 10^-8. Пустой эталон, PHB и smooth равной площади сравниваются при -15, -11.25 и -7.5 градуса. Для PHB при -3.75 градуса соответствующих контролей нет.

7. Независимый аудит целостности и геометрии

Полнота. Присутствуют все ожидаемые случаи серий A и B. Серия B содержит ровно 3 геометрии × 9 углов × 9 частот = 243 независимых случая и 486 строк контрольных точек. Пропущенных комбинаций, NaN и дублированных строк измерений не обнаружено.

Зеркальная симметрия. В симметричных расчётах Resolution 36 замена θ на −θ переставляет верхний и нижний отклики почти с машинной точностью. Это убедительно подтверждает правильность фазирования источника, размещения датчиков и отражения геометрии.

Качество контролей. Серия A отделяет гиперболические и прямые осевые линии, но сохраняет угол и различие площади. Серия B добавляет гладкий степенной контроль с показателем p=1.3840853 и относительным различием площади полости около 5×10^-10, устраняя основные альтернативы, связанные с углом и площадью первого порядка.

Различимость на сетке. Максимальное осевое расхождение профилей PHB и smooth равно 0.03346. Это лишь около 1.20 ячейки при Resolution 36 и 2.68 ячейки при Resolution 80. Контроли физически различны, но проверка при Resolution 120 или выше остаётся обязательной.

Идентифицируемость декодеров. Модели ridge и RBF недоопределены или слабо ограничены пятью калибровочными углами. Их метрики приводятся как анализ чувствительности, а не как основное доказательство. Segment-интерполяция является локальным приближением измеренного калибровочного многообразия и наиболее обоснованным текущим декодером, хотя не единственным физически возможным методом.

8. Согласованные сравнительные результаты Resolution 36

Серия A показывает, что двухсенсорный отклик не является артефактом отдельного PHB-запуска. По всем углам и частотам средняя фокальная концентрация PHB равна 1.615 против 0.771 у буквального линейного контроля, то есть выше в 2.09 раза. Встроенный результат ближайшего шаблона отдаёт преимущество PHB, однако тестовые углы являются точными серединами 15-градусной обучающей сетки; поэтому MAE ближайшего шаблона имеет сильный дискретизационный предел и не используется как главное количественное утверждение.

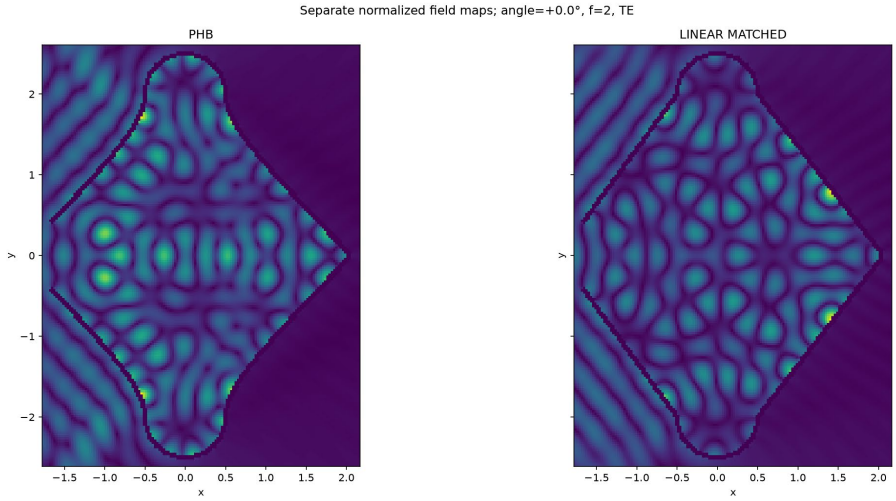

Рисунок 3. Поля PHB и linear в серии A при нормальном падении (архивное сравнение).

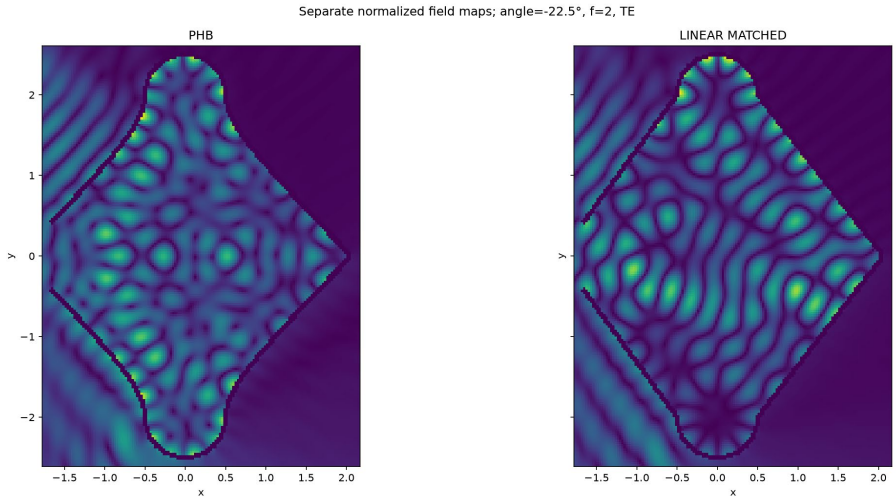

Рисунок 4. Сравнение полей серии A при -22.5 градуса.

При f=1.8 отклик PHB демонстрирует ожидаемое подписанное перераспределение. Амплитудная асимметрия изменяется от -0.760 при -30 градусах через почти нулевое значение при нормальном падении до +0.760 при +30 градусах. Соответствующая асимметрия фокальной энергии изменяется от -0.735 до +0.735. Линейный контроль также несёт

информацию о направлении, но его концентрация относительно центра ниже единицы на большей части этого углового интервала. Серия A поддерживает существование фокально связанной PHB-моды, однако конструкция контроля и сетка декодера не позволяют сделать окончательный причинный вывод.

9. Результаты причинного контроля Resolution 36

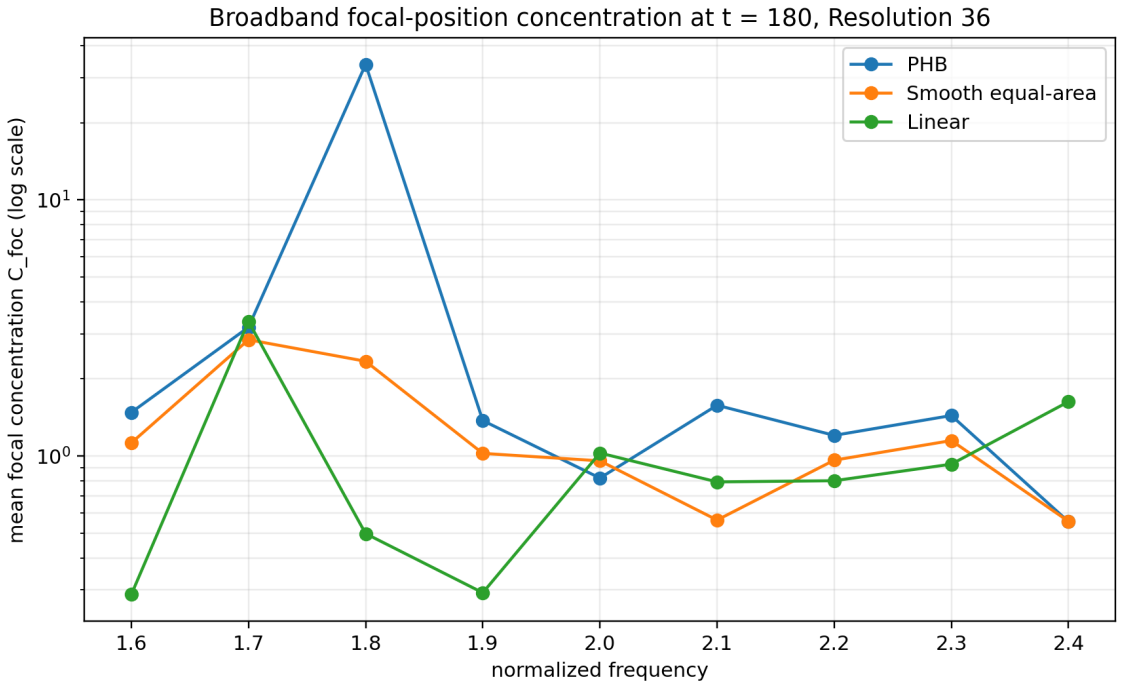

Рисунок 5. Широкополосная концентрация в фокально связанных положениях для PHB и двух контролей при t=180.

Таблица 2. Средние коэффициенты фокальной концентрации при t=180.

f	PHB	Smooth	Linear	PHB/Smooth	PHB/Linear
1.6	1.480	1.125	0.288	1.315	5.137
1.7	3.183	2.844	3.350	1.119	0.950
1.8	33.803	2.343	0.498	14.427	67.922
1.9	1.375	1.024	0.293	1.343	4.701
2.0	0.820	0.957	1.027	0.857	0.798
2.1	1.578	0.562	0.792	2.806	1.992
2.2	1.204	0.963	0.801	1.250	1.503
2.3	1.439	1.149	0.929	1.252	1.548
2.4	0.554	0.556	1.630	0.997	0.340

PHB превосходит smooth-контроль не менее чем на 20% на шести из девяти частот. Медианное отношение PHB/smooth равно 1.252 и остаётся 1.251 после удаления сильнейшей

частоты. Следовательно, широкополосная тенденция не создаётся только одним пиком, но заранее заявленный критерий покрытия 67% формально не выполнен, поскольку 6/9=66.7%.

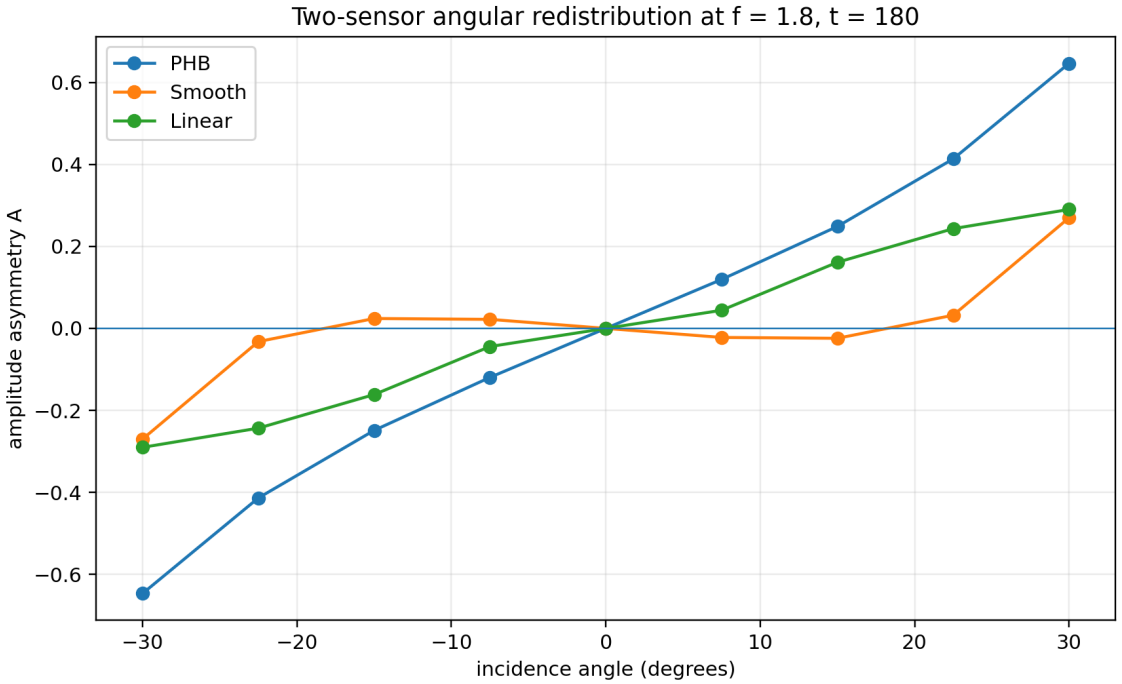

Рисунок 6. При f=1.8 PHB формирует чистое подписанное амплитудное перераспределение между двумя датчиками.

9.1. PHB-специфический кандидат при f=1.8

Таблица 3. Разложение кандидата концентрации f=1.8 при t=180.

Модель	Mean C_foc	Mean sensor |S+|+|S−|	Отношение фокальной плотности	Отношение центральной плотности
PHB	33.803	63.91	1.000 (reference)	0.083 × smooth centre
Smooth равной площади	2.343	58.13	0.747 of PHB focal density	1.000
Linear	0.498	—	—	—

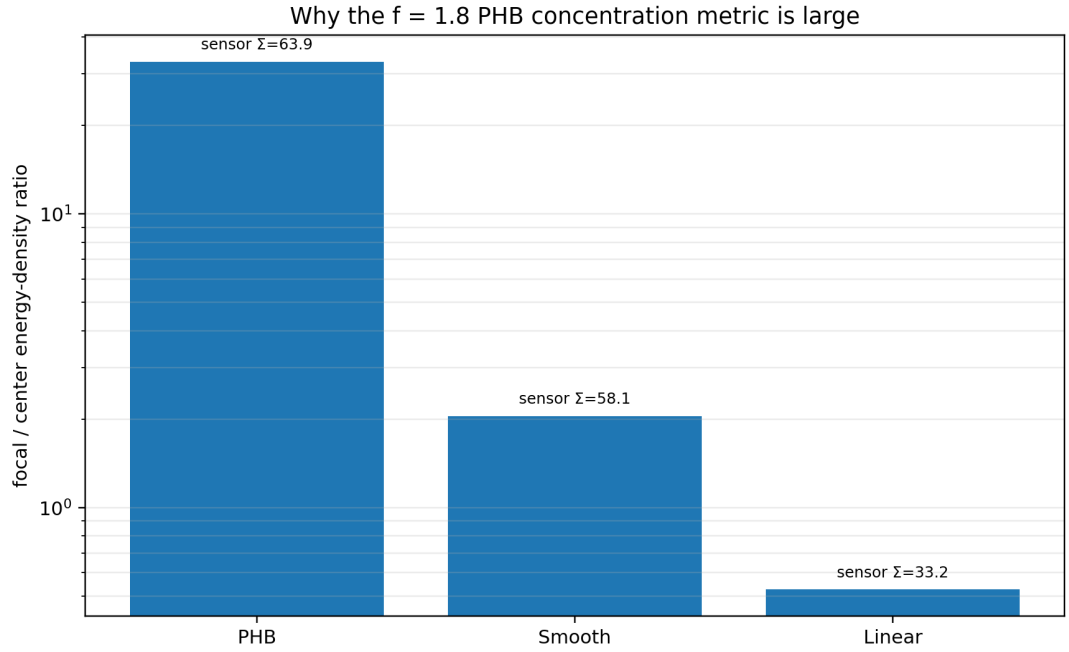

Рисунок 7. Очень большое отношение концентрации PHB создаётся главным образом подавлением центра при умеренном абсолютном фокальном усилении, а не четырнадцатикратным усилением датчиков.

При t=180 среднее C_foc равно 33.803 для PHB, 2.343 для smooth и 0.498 для linear. Отношение концентраций PHB/smooth равно 14.43, однако отношение абсолютной плотности в фокальной зоне составляет лишь около 1.34, а отношение средней суммы датчиков — около 1.10. Большая концентрация отражает сильную пространственную перестройку, прежде всего центральный минимум. Это физически важно для идеи привилегированных положений, но не должно называться четырнадцатикратной эффективностью сбора.

9.2. Характеристики декодера направления

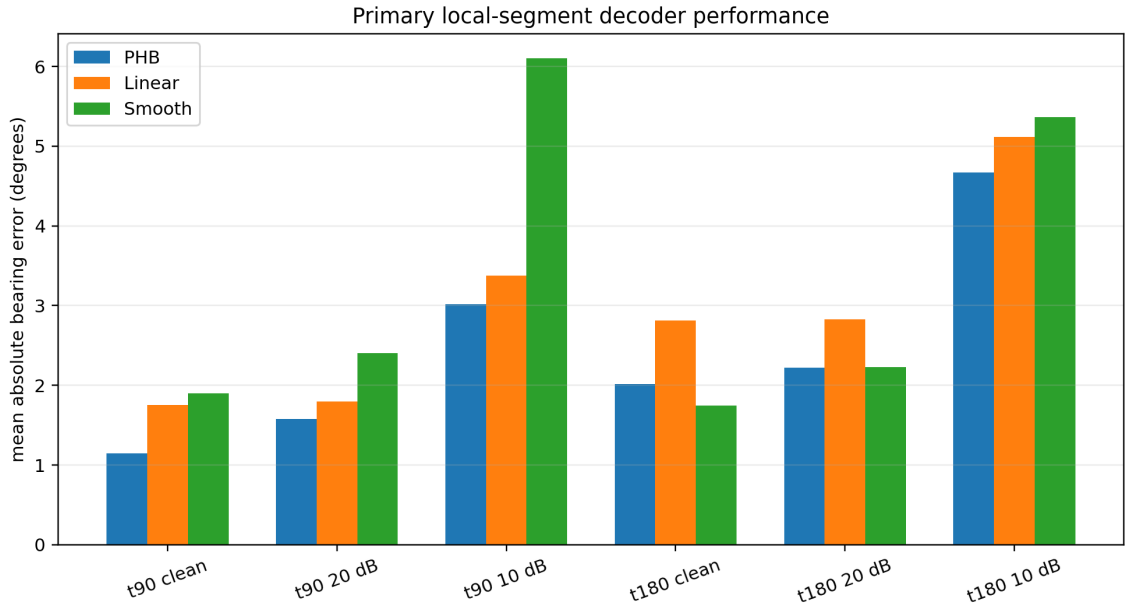

Рисунок 8. Средняя абсолютная ошибка угла основного локального segment-декодера.

Таблица 4. Результаты основного декодера, градусы.

Checkpoint	Условие	PHB MAE	Linear MAE	Smooth MAE
t=90	clean	1.149	1.754	1.896
t=90	20 dB	1.578	1.795	2.403
t=90	10 dB	3.014	3.375	6.104
t=180	clean	2.013	2.810	1.743
t=180	20 dB	2.222	2.830	2.229
t=180	10 dB	4.669	5.119	5.365

При t=90 PHB является лучшим во всех трёх условиях. При t=180 smooth является лучшим в чистом случае, PHB и smooth практически равны при 20 dB, а PHB имеет наименьшую среднюю ошибку при 10 dB. Следовательно, технология демонстрирует двухсенсорный код, но превосходство PHB не является универсальным и меняется по мере эволюции поля.

9.3. Отсутствие временной сходимости

Таблица 5. Изменение между t=90 и t=180.

Модель	Feature cosine	Feature relative L2	Focal relative L2	Итог
phb	0.9536	0.304	0.690	FAIL
linear_corner	0.9847	0.174	0.115	FAIL
smooth_area	0.9744	0.226	0.051	FAIL

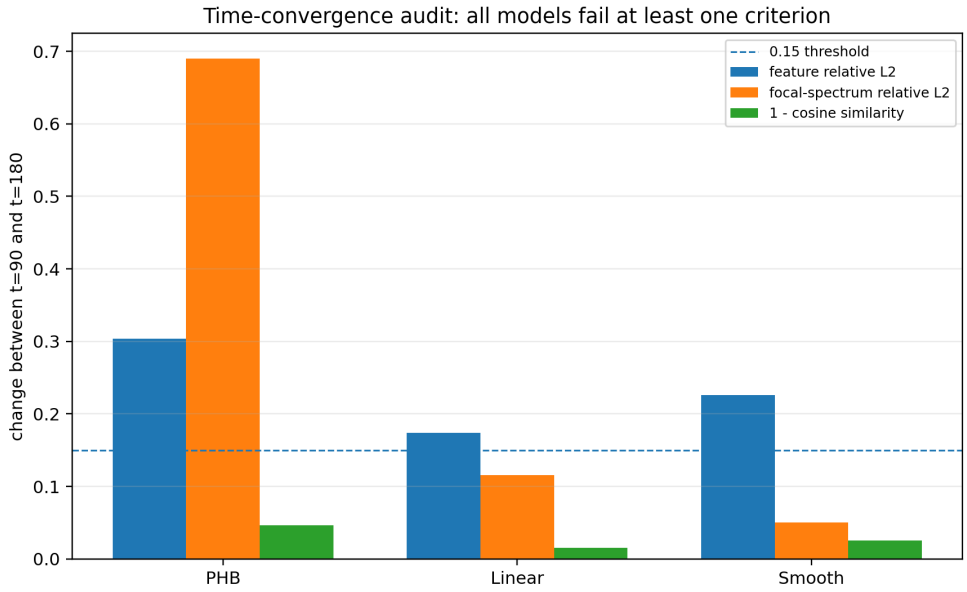

Рисунок 9. Все три геометрии не проходят как минимум одно заявленное условие временной сходимости.

PHB изменяется сильнее всего: косинус признаков 0.9536, относительное L2-изменение признаков 0.3037 и относительное L2-изменение фокального спектра 0.6903. Следовательно, t=180 нельзя называть сошедшимся стационарным состоянием. Картина f=1.8 качественно сохраняется на обеих контрольных точках, но её величина не установилась.

10. Фокально связанная проверка Resolution 80

Проверка высокого разрешения вводит пустой эталон и использует абсолютную энергетическую маску. Это наиболее прямой текущий тест утверждения о том, что PHB одновременно изменяет локальное поле и создаёт предпочтительные волновые положения около y=±R.

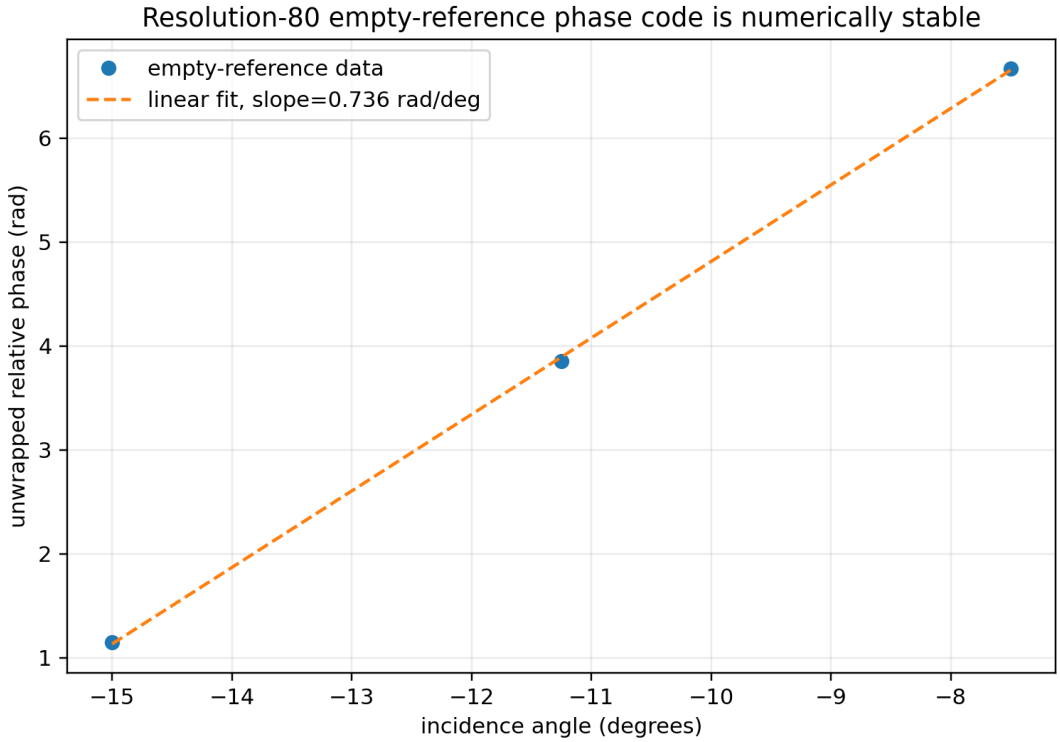

Рисунок 10. Двухсенсорный фазовый отклик пустого эталона устойчив и приблизительно линеен на трёх проверенных отрицательных углах.

Два сохранённых снимка empty совпадают практически с машинной точностью. Это подтверждает устойчивость источника, области, PML и извлечения сигналов. Численная нестабильность появляется только после введения резонансных полостей.

Таблица 6. Результаты Resolution 80 для более строгого сохранённого снимка (запрошенный допуск 10^-8).

Угол	PHB/empty ΣS	Smooth/empty ΣS	PHB/Smooth ΣS	G_foc PHB	G_foc Smooth	G ratio	A PHB	A Smooth
-15.00	3.59	2.39	1.50	1.166	0.657	1.78	0.164	0.388
-11.25	2.27	1.80	1.26	0.627	0.477	1.32	-0.273	0.336
-	2.38	1.99	1.20	0.	0.71	1.	0.	0.43

Угол	PHB/empty ΣS	Smooth/empty ΣS	PHB/Smooth ΣS	G_foc PHB	G_foc Smooth	G ratio	A PHB	A Smooth
7.50				774	7	08	339	3

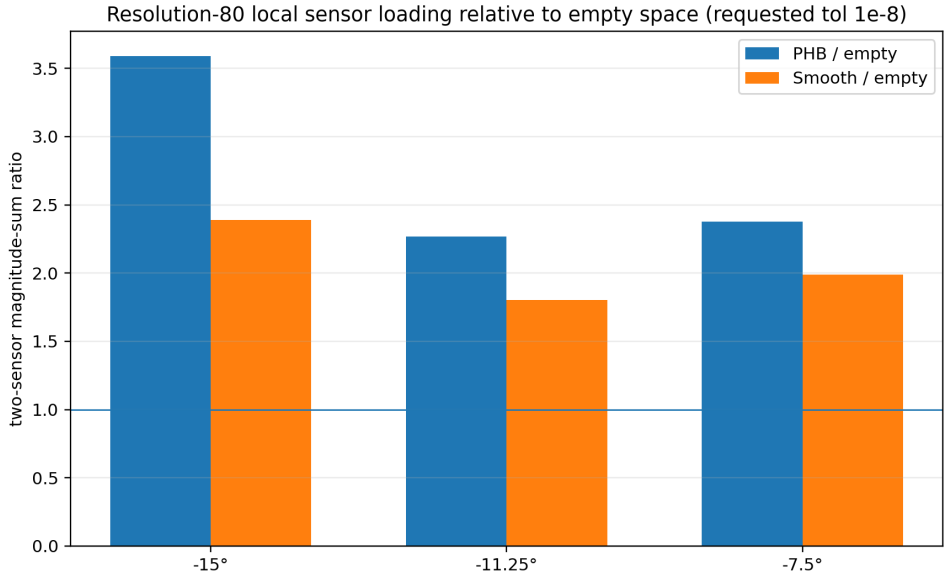

Рисунок 11. Обе полости увеличивают локальную загрузку относительно пустого пространства; для строгого снимка PHB имеет большую сумму датчиков на всех трёх общих углах.

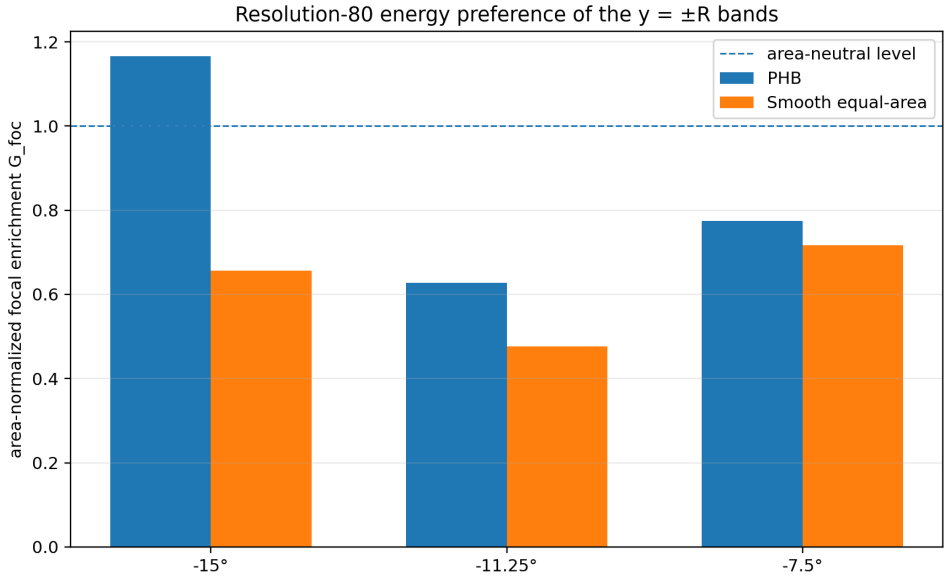

Рисунок 12. Нормированное по площади предпочтение полос y=±R. Сильнейшее причинное различие получено при -15 градусах.

10.1. Интерпретация по углам

−15 градусов. Усиление PHB/empty по сумме датчиков равно 3.59. PHB обращает амплитудное доминирование пустого пространства и даёт G_foc=1.166. Smooth также

перестраивает и усиливает поле, но G_foc=0.657. Отношение обогащений PHB/smooth равно 1.78. То же качественное различие присутствует на обоих сохранённых допусках: PHB имеет G_foc>1, а smooth — G_foc<1. Это наиболее сильное текущее свидетельство привилегированных фокально связанных положений.

−11.25 градусов. Усиление PHB/empty равно 2.27, а отношение суммы датчиков PHB/smooth равно 1.26. Обогащение PHB 0.627 превышает smooth 0.477 в 1.32 раза, но обе величины ниже единицы. Знак сенсорной асимметрии PHB меняется между двумя снимками допуска, поэтому направленный код на этом угле численно ненадёжен.

−7.5 градусов. Усиление PHB/empty равно 2.38, а отношение PHB/smooth по датчикам равно 1.20. Фокальное обогащение равно 0.774 для PHB и 0.717 для smooth, то есть отношение лишь 1.08. Локальные датчики предпочитают PHB, но полные фокальные полосы не показывают устойчивого гиперболического преимущества.

−3.75 градуса, только PHB. Сохранённые сумма датчиков и энергия полости на порядки превышают соседние PHB-углы, что указывает на узкий резонансный кандидат. Однако два снимка допуска радикально различаются, а empty- и smooth-контроли отсутствуют. Случай исключается из положительного доказательства до независимого повторения.

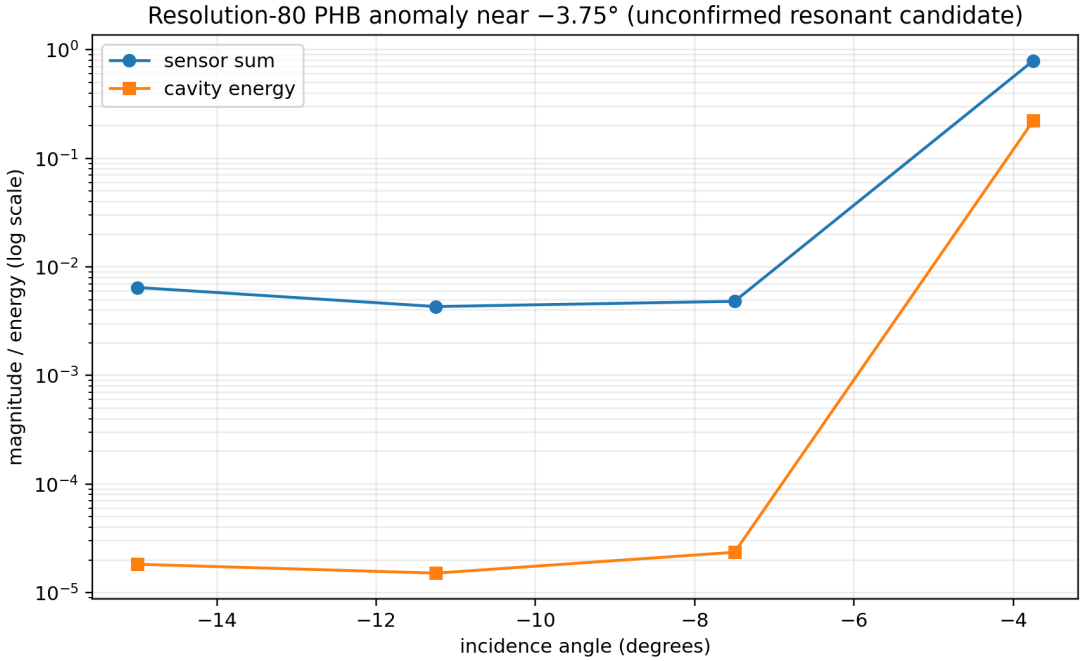

Рисунок 13. PHB-отклик при -3.75 градуса является неподтверждённой резонансной аномалией, а не верифицированным результатом пеленгации.

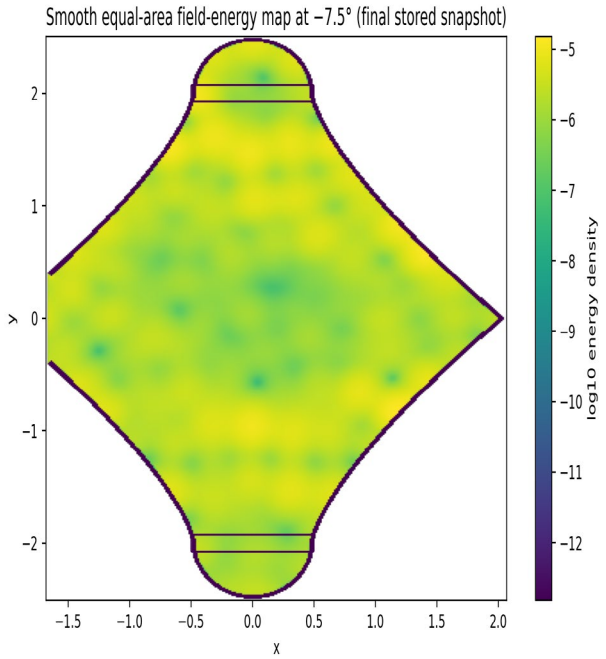

Рисунок 14. Сохранённая карта энергии smooth-контроля при -7.5 градуса. Сильное поле существует, но главный максимум полости не расположен в заявленных фокальных полосах.

10.2. Чувствительность CW-решения к допуску

Таблица 7. Изменение между последовательными запрошенными допусками 10^-6 и 10^-8.

Модель	Угол	Изменение суммы	Изменение энергии	Изменение G_foc	Корреляция профиля
phb	-15.00	13.1%	119.6%	6.7%	0.854
phb	-11.25	20.8%	142.3%	10.1%	0.771
phb	-7.50	162.5%	1544.9%	36.0%	0.553
phb	-3.75	127.3%	2004.1%	39.1%	0.346
smooth_area	-15.00	35.5%	233.4%	6.6%	0.173
smooth_area	-11.25	4.5%	12.8%	2.1%	0.947
smooth_area	-7.50	44.4%	125.3%	50.2%	0.439

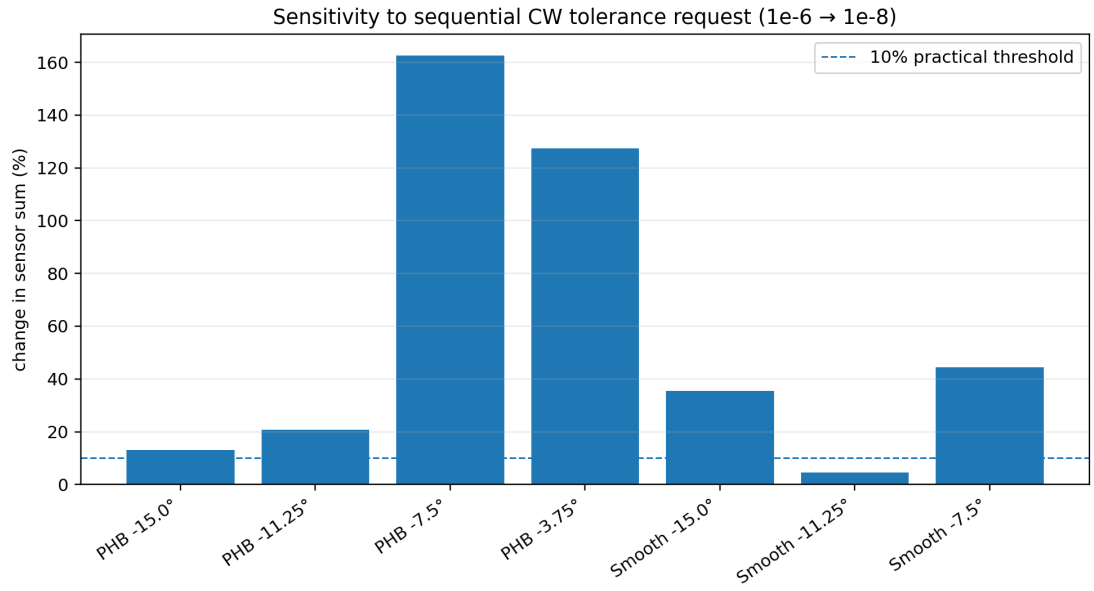

Рисунок 15. Большинство случаев с полостями превышают практический порог устойчивости 10%.

Сохранённые допуски являются запросами решателю, а не доказательством достижения соответствующей конечной невязки. Последовательный режим также использует предыдущее поле как начальное условие. Большие изменения и низкие корреляции профилей показывают, что сравнения полостей пока не являются строгими стационарными результатами. До количественных утверждений необходимы независимые запуски 10^-7 и 10^-8 с последующим временным подтверждением.

11. Комплексная оценка четырёх ожидаемых фокальных признаков

Таблица 8. Матрица доказательств гипотезы фокального свойства.

Ожидаемое проявление	Данные	Статус аудита
1. Усиление около y=±R	Подтверждено относительно empty на трёх углах Resolution 80; обогащение всей фокальной полосы специально подтверждается только при -15°.	Предварительно положительно
2. Углозависимая перестройка	Сильна на картах и сенсорных кодах Resolution 36; поля Resolution 80 также сильно меняются с углом.	Положительно, но смешано с чувствительностью решателя
3. Перенос верх/низ	Чистый зеркально-симметричный перенос при f=1.8 в Resolution 36; обращение знака относительно empty при -15° в Resolution 80.	Сильная качественная поддержка
4. Амплитудно-фазовый	Восстановление слепых	Принцип технологии

Ожидаемое проявление	Данные	Статус аудита
код	углов показано при Resolution 36. Код Resolution 80 пока немонотонен и чувствителен к допуску.	поддержан; калибровка не сошлась

Совокупные данные сильнее любой отдельной метрики. Криволинейная полость может усиливать датчики без фокального предпочтения; пара датчиков может кодировать направление без гиперболического закона; большое отношение фокус/центр может быть увеличено центральным минимумом. PHB становится научно отличимым только при совместном рассмотрении локального усиления, пространственного обогащения, углозависимого переноса и качества кода относительно empty и равноплощадного контроля.

12. Что установлено и что остаётся открытым

12.1. Установлено в проверенной численной области

- Пассивная профилированная полость способна преобразовывать подписанный угол падения в воспроизводимый двухсенсорный комплексный отклик.
- PHB-геометрия несёт измеримую информацию о направлении и может превосходить согласованные контроли в отдельных частотных, временных и шумовых режимах.
- Частотно-селективное PHB-состояние около f=1.8 сильно выделяет уровни y=±R относительно центра полости при Resolution 36.
- При Resolution 80 PHB усиливает локальную загрузку фокально связанных датчиков относительно пустого пространства на всех трёх общих проверенных углах.
- При -15 градусах и обоих сохранённых запросах допуска PHB имеет G_foc>1, тогда как гладкий равноплощадный контроль имеет G_foc<1.
- Предлагаемая двухсенсорная редукция является корректным необходимым тестом концепции 3D-экваториального кольца.

12.2. Пока не установлено

- Численно сошедшиеся стационарные амплитуды, фазы, энергии и формы профилей PHB и smooth при f=1.8.
- Исключительная причинность точной гиперболической образующей в широком диапазоне углов и частот.
- Сеточная сходимость между Resolution 80 и 120 или выше.
- Однозначная монотонная двухсенсорная калибровочная кривая при Resolution 80.
- Физическая природа и добротность аномалии -3.75 градуса.
- Полное 3D-восстановление азимута и угла места многодатчиковым кольцом.
- Определение дальности, Доплер, поляризационное разнообразие, разделение нескольких источников, подавление помех, материальные потери и экспериментальное устройство.

13. Воспроизводимость

Все значения в настоящем отчёте заново рассчитаны из предоставленных архивов и файлов JSON/CSV. Устаревшие поисковые серии низкого разрешения, не относящиеся к

проверенной доказательной базе, намеренно исключены. Следующие хеши идентифицируют проверенные файлы:

Таблица 9. Идентификаторы воспроизводимости.

Файл	SHA-256
PHB_2D_PHB_VS_LINEAR_FAST_V3(5).zip	f033889f23a52dfbd3ca62c6d19ccb9d6db5f9486e8a7636278e4491ce787658
PHB_2D_FOCAL_CAUSAL_V4(5).zip	a2bd95778d1d2bc0fd50b3bbc6e4b1367701d67aeee0cd522c8f7a0765def262
empty_reference (2).zip	34a961c4c9e403dd16d8d4c7a8d7713108a0f1e8c74d301a36090d09c965654e
PHB_2D_UNIVERSAL_FOCAL_DIRECTION_MEEP_v5_2_FINAL.py	6a626982e7ba636fa26eba332b01852c8047a4e4e1d9341a4fb4aaf4edc7197c

13.1. Основной шаблон команды Resolution 80

```
docker run --rm -it \
  -v "$PWD":/work -e MPLBACKEND=Agg meep-working \
  python /work/PHB_2D_UNIVERSAL_FOCAL_DIRECTION_MEEP_v5_2_FINAL.py \
    --stage cw --models phb,smooth_area \
    --angles=-15 --a 0.5 --b 0.5 --R 2 \
    --R1 0.2 --R1-mode relative --frequency 1.8 \
    --resolutions 80 --cw-tolerances 1e-7,1e-8 \
    --cw-tolerance-mode independent --cw-maxiters 30000 \
    --cw-L 4 --no-archive
```

Приведённая команда является рекомендуемым следующим тестом сходимости, а не завершённым набором данных настоящего отчёта. Каждый допуск должен начинаться с нового объекта Simulation. В логах необходимо сохранять фактически достигнутую невязку и число итераций.

14. Необходимая программа верификации

5. Независимая CW-сходимость при Resolution 80 для PHB и smooth при -15 градусах с отдельными запусками 10^-7 и 10^-8; сравнить сумму датчиков, отдельные каналы, фазу, G_foc, энергию и корреляцию комплексных профилей.
6. Временное подтверждение той же пары конечнополосным импульсом, контролем затухания и Harminv или эквивалентным модовым анализом для определения, является ли f=1.8 долгоживущей модой.
7. Повтор сеточной сходимости при Resolution 120, а затем при более высоком разрешении, если расхождение PHB–smooth остаётся всего в несколько ячеек.
8. Проверка зеркальных углов +15, +11.25 и +7.5 градуса для подтверждения перестановки верх/низ и исключения одностороннего смещения источника или сетки.
9. Отдельное независимое исследование аномалии -3.75 градуса с empty- и smooth-контролями, сканированием частоты, регистрацией фактической невязки и оценкой Q.
10. Полный 3D-расчёт не менее чем с 8–16 экваториальными датчиками, сканированием азимута и угла места, изменением поляризации и анализом вращательных гармоник.

11. Аппаратный прототип со стенками конечной проводимости, калиброванными датчиками, шумами кабелей и приёмника, размерными допусками и сравнением с обычной эталонной апертурой.

15. Заключение и фиксация приоритета

Настоящие расчёты верифицируют центральную технологическую предпосылку на уровне доказательства принципа: пассивная псевдогиперболоидная граница способна преобразовывать направление падения в пространственно и спектрально структурированный комплексный отклик, измеряемый двумя фокально связанными датчиками. Отклик не является тривиальной копией падающего поля; PHB может усиливать локальную загрузку, менять доминирующий датчик и перераспределять энергию между двумя положениями y=±R.

Сильнейшее свидетельство фокального закона представляет собой сочетание двух результатов. Во-первых, PHB-состояние f=1.8 при Resolution 36 создаёт большую концентрацию относительно центра и чистый зеркально-симметричный угловой код. Во-вторых, при Resolution 80 и -15 градусах PHB формирует G_foc>1, тогда как гладкая негиперболическая полость равной площади даёт G_foc<1 на обоих сохранённых запросах допуска. Это сочетание согласуется с существованием привилегированных волновых положений, связанных с вращённой внешне-фокальной геометрией.

Независимый аудит одновременно выявляет решающее ограничение: резонансные поля полостей пока не сошлись. Исключительная причинная роль гиперболической образующей остаётся проверяемой гипотезой, а не установленным универсальным законом. Предлагаемый 3D-пеленгатор с кольцом датчиков является научно мотивированной архитектурой, поддержанной первыми численными данными, но не готовым радаром.

Настоящий отчёт фиксирует приоритет описанного пеленгационного принципа GWE, интерпретации PHB через внешние фокальные кольца, экваториальной многодатчиковой архитектуры, двухсенсорного меридионального метода верификации и проверенных численных наблюдений. Будущие положительные или отрицательные результаты сходимости и 3D-расчётов уточнят утверждение, не изменяя дату настоящего раскрытия.

Литература

1. J. D. Jackson, Classical Electrodynamics, 3rd ed., Wiley, 1998.

2. A. Taflove and S. C. Hagness, Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method, 3rd ed., Artech House, 2005.

3. A. F. Oskooi et al., “MEEP: A flexible free-software package for electromagnetic simulations by the FDTD method,” Computer Physics Communications 181 (2010) 687–702.

4. MEEP documentation and source code, open-source finite-difference time-domain electromagnetic simulation framework.

5. Standard analytic-geometry focal and reflection properties of conic sections; equations are stated explicitly in this report.

Приложение A. Точные основные параметры

Таблица A1. Геометрические и численные параметры.

Параметр	Значение
a	0.5
b	0.5

Параметр	Значение
R	2.0
R_in	0.4
c	0.7071067812
L	2.0615528128
Толщина стенки	0.0833333333
Смещение датчика	0.1041666667
Размер датчика	0.05 × 0.05
Полутолщина фокальной полосы	0.08
Частота Resolution 80	1.8
Поляризация	2D TE (H_z, E_x, E_y)

Приложение B. Полная таблица измерений Resolution 80

Таблица B1. Сенсорные метрики всех снимков Resolution 80.

M	Угол	Tol	|S+|	|S−|	ΣS	A	Δφ
E	-15.00	8	4.31E-04	0.0014	0.0018	-0.522	1.152
E	-15.00	6	4.31E-04	0.0014	0.0018	-0.522	1.152
P	-15.00	8	0.0038	0.0027	0.0065	0.164	-2.065
P	-15.00	6	0.0037	0.0019	0.0056	0.308	-2.433
S	-15.00	8	0.0030	0.0013	0.0043	0.388	-2.335
S	-15.00	6	0.0033	0.0025	0.0058	0.139	2.670
E	-11.25	8	5.55E-04	0.0013	0.0019	-0.416	-2.428
E	-11.25	6	5.55E-04	0.0013	0.0019	-0.416	-2.428
P	-11.25	8	0.0016	0.0027	0.0043	-0.273	-3.087
P	-11.25	6	0.0022	0.0012	0.0034	0.272	-2.222
S	-11.25	8	0.0023	0.0011	0.0034	0.336	-2.496

M	Угол	Tol	|S+|	|S−|	ΣS	A	Δφ
S	-11.25	6	0.0024	0.0012	0.0036	0.312	3.036
E	-7.50	8	6.93E-04	0.0013	0.0020	-0.317	0.389
E	-7.50	6	6.93E-04	0.0013	0.0020	-0.317	0.389
P	-7.50	8	0.0032	0.0016	0.0048	0.339	-0.230
P	-7.50	6	0.0079	0.0048	0.0127	0.245	-2.450
S	-7.50	8	0.0029	0.0011	0.0040	0.433	0.107
S	-7.50	6	0.0020	0.0038	0.0058	-0.319	1.631
P	-3.75	8	0.3449	0.4488	0.7937	-0.131	-0.560
P	-3.75	6	0.8962	0.9082	1.8044	-0.007	1.506

Таблица B2. Интегральные энергетические метрики снимков PHB и smooth.

M	Угол	Tol	U_cav	U_foc	η_foc	G_foc
P	-15.00	8	1.83E-05	6.45E-07	0.0353	1.166
P	-15.00	6	4.01E-05	1.32E-06	0.0329	1.088
S	-15.00	8	2.65E-05	5.26E-07	0.0199	0.657
S	-15.00	6	8.83E-05	1.87E-06	0.0212	0.700
P	-11.25	8	1.51E-05	2.87E-07	0.0190	0.627
P	-11.25	6	3.67E-05	7.66E-07	0.0209	0.691
S	-11.25	8	2.05E-05	2.95E-07	0.0144	0.477
S	-11.25	6	1.79E-05	2.63E-07	0.0147	0.487
P	-7.50	8	2.36E-05	5.51E-07	0.0234	0.774

M	Угол	Tol	U_cav	U_foc	η_foc	G_foc
P	-7.50	6	3.88E-04	1.23E-05	0.0318	1.052
S	-7.50	8	2.46E-05	5.34E-07	0.0217	0.717
S	-7.50	6	5.55E-05	1.81E-06	0.0326	1.077
P	-3.75	8	0.2223	0.0100	0.0450	1.490
P	-3.75	6	4.6767	0.1284	0.0275	0.908

Обозначения: E = пустой эталон, P = PHB, S = smooth равной площади; Tol 6 и 8 означают запрошенные допуски 10^-6 и 10^-8.

Приложение C. Правила интерпретации

- Коэффициент фокальной концентрации не является эффективностью сбора и может увеличиваться из-за малого знаменателя в центре.
- G_foc нормирован по площади, но зависит от заявленной фокальной маски.
- Запрошенный CW-допуск не доказывает достигнутую невязку, если невязка и число итераций не записаны.
- Последовательные снимки допуска не являются независимыми повторениями.
- Двухсенсорный направленный код сам по себе не является уникальным доказательством гиперболического фокального закона; обязательны контроли.
- Положительный 2D-результат не устанавливает работу полного 3D-кольца, дальности или радара.