سياسة إثبات العمل النقدية التكيفية بلا وسطاء: آلية بنائية لشبه الاستقرار عبر إصدار ذيل مقترن بالعمل والإحراق

Chancellor Shammah
shammah.chancellor@proton.me
https://t.me/TheLotusNetwork

٢١ فبراير ٢٠٢٦
الإصدار 1.1

ملخص

تقترح هذه الورقة بديلاً بنائياً لبيتكوين يحتفظ بإثبات العمل مع تحقيق شبه الاستقرار دون الاعتماد على الحوكمة التقديرية أو وسطاء السعر الخارجيين، مقدِّمةً بديلاً تنافسياً للمؤشرات التي تديرها اللجان كمؤشر أسعار المستهلك التي تعتمد على منهجية ذاتية وقياس مؤسسي. انطلاقاً من ملاحظة أن PoW يكشف عن الإنفاق الأمني المرئي للبروتوكول عبر الصعوبة [?] (ومن ثمَّ العمل المتوقع لكل كتلة)، نُحدد آلية ذات حلقتين: (أ) قاعدة إصدار ذيل تكيفية مقترنة بالعمل تُعرَّف كلياً من متغيرات قابلة للرصد في ترويسة الكتلة وحالة الإجماع السابقة، و(ب) آلية إحراق مدفوعة بالسوق (burn-to-speak [?] وإحراق جزئي للرسوم) توفر مصرفاً للطلب داخلياً دون أي وسيط. يُعبَّر عن التصميم بصيغة التوقع ويستخدم معادلات تحديث متشابهة (قائمة على النسب) لتجنب التقطع وتقليل قابلية التلاعب. نستعرض حجة استقرار مبنية على تغذية راجعة سلبية بين العمل والإصدار وطلب الإحراق وسعر التوازن، ونناقش إمكانية التطبيق ضمن بنية الخادم والتحقق على غرار بيتكوين.

١ هدف التصميم ومجموعة القيود

١.١ الهدف: شبه الاستقرار نسبةً إلى الطاقة

نسعى إلى شبه الاستقرار نسبةً إلى الطاقة (وبالتالي نسبةً غير مباشرة إلى الأصول الحقيقية الأكثر استقراراً كالدولار)، دون محاولة ربط صارم. الغرض عملي: تخفيض التذبذب بما يكفي ليتمكن الفاعلون ذوو التكاليف الثابتة (الأجور وسلاسل التوريد وعقود الديون) من استخدام العملة دون إعادة تسعير مستمرة.

٢.١ القيود

- لا وسطاء خارجيين. لا مؤشر أسعار المستهلك ولا تغذيات الدولار ولا مؤشرات تُعرِّفها اللجان.
- لا تحكم تقديري. يجب ألا تكون المعاملات النقدية رافعةً استراتيجية لأي مجموعة.
- الاحتفاظ بإثبات العمل. يُعامَل صعوبة/العمل باعتباره إشارة إنفاق أمني مرئية للبروتوكول.
- تبنٍّ غير إكراهي. يجب أن ينشأ الطلب من المنفعة الطوعية والمنافسة في السوق.

٢ الترميز

نُفهرس الكتل بالارتفاع n.
ليكن:

- P_n: السعر الخارجي للعملة (مثلاً دولار/عملة)، يُعامَل كمتغير كامن (لا كمدخل وسيط).
- R_n^{boot}: مكوِّن الدعم الانطلاقي (عملة/كتلة)، محدد مسبقاً ومتناقص باستمرار.
- R_n^{tail}: مكوِّن دعم الذيل التكيفي (عملة/كتلة)، متغير حالة البروتوكول.
- F_n: رسوم المعاملات (عملة/كتلة).
- B_n: العملات المُحرقة في الكتلة n عبر إحراق الرسوم والإحراق للتعبير (عملة/كتلة).

إجمالي دعم العملة الأساسية:

$$R_n := R_n^{\text{boot}} + R_n^{\text{tail}}.$$

صافي الإصدار الإجمالي في الكتلة n:

$$\Delta S_n := R_n + F_n - B_n,$$

مع الإشارة إلى أن الرسوم في المحاسبة على غرار بيتكوين تُحوَّل إلى المعدِّنين ما لم تُحرق صراحةً.

٣ وكيل العمل من بتات ترويسة الكتلة: الصعوبة والتجزئات المتوقعة

ليكن T_n هدف PoW الذي تضمنه حقل ترويسة الكتلة nBits عند الارتفاع n.
نُعرِّف الصعوبة (نسبةً إلى هدف مرجعي T_0):

$$D_n := \frac{T_0}{T_n}.$$

نُعرِّف التجزئات المتوقعة لكل كتلة تحت وسيط تجزئة منتظم:

$$\mathcal{H}_n := \frac{2^{256}}{T_n + 1},$$

(وفق اتفاقية عامل ثابت قياسي).
كلاهما يتناسب مع مقلوب الهدف:

$$\mathcal{H}_n \propto \frac{1}{T_n} \propto D_n.$$

لذا نُعرِّف وكيل عمل مجرداً مرئياً للبروتوكول W_n ونسمح بأحد الشكلين:

$$W_n := D_n \quad \text{or} \quad W_n := \mathcal{H}_n,$$

مع الفهم أن هذا الاختيار يؤثر فقط على ثوابت القياس، لا على الديناميكيات النوعية.

٤ مؤشرات الأسعار المؤسسية مقابل الكشف التنافسي عن التكلفة

١.٤ مشكلة قياس مؤشر أسعار المستهلك

تواجه أنظمة قياس الأسعار المؤسسية كمؤشر أسعار المستهلك تحديات موثقة تؤثر على موثوقيتها في تطبيقات السياسة النقدية. حدَّدت لجنة بوسكين [?] تحيزاً تصاعدياً منهجياً في قياس مؤشر أسعار المستهلك الأمريكي، مُقدِّرةً مبالغةً سنوية بمقدار 1.1 نقطة مئوية بسبب قيود منهجية تشمل تحيز الاستبدال وتحيز المنفذ وتحيز الجودة وتحيز المنتجات الجديدة. أكد التحليل اللاحق للِبو وورود [?] استمرار خطأ القياس رغم التحسينات التقنية، مشيراً إلى أن تأخيرات المراجعة والتعديلات الجودية الذاتية تُدخل عدم يقين يؤثر على قرارات السياسة الآنية.

يتضمن بناء مؤشر أسعار المستهلك الحديث عناصر تقديرية واسعة عبر التعديلات الجودية الهيدونية [?]، حيث تتخذ الوكالات الإحصائية أحكاماً ذاتية حول السعر ``الحقيقي" للسلع والخدمات المتطورة. الخيارات المنهجية القائمة على اللجان --- كالتجميع بالمتوسط الهندسي مقابل الحسابي وتعديل المواسم وإجراءات معيارية الجودة --- تُضمِّن حكماً مؤسسياً قد لا يعكس تصورات المشاركين في السوق لتغيرات القوة الشرائية.

٢.٤ الكشف التنافسي عن التكلفة كبديل

يوفر القياس القائم على إثبات العمل بديلاً هيكلياً مبنياً على الكشف التنافسي عن التكلفة بدلاً من إجماع اللجان. حيث تستلزم المؤشرات المؤسسية تجميعاً ذاتياً لأسعار السلة وتقييمات الجودة، تنبثق الإشارات المستندة إلى العمل من قرارات الإنفاق الفعلية للمعدِّنين تحت ضغط تنافسي. تُدمج آلية تعديل الصعوبة تغيرات تكاليف التقنية وأسعار الطاقة وكفاءة رأس المال بصورة طبيعية دون الحاجة إلى تعديلات جودية صريحة أو قرارات لجان منهجية.

ينبني هذا النهج التنافسي على إطار واينستاين لمقاومة الاستيلاء المؤسسي [?]، مستثمراً حقيقة أن المعدِّنين لا يستطيعون التنسيق لتحريف بنية تكلفتهم بشكل منهجي دون خسارة الميزة التنافسية. خلافاً لجمع أسعار بالمسح أو تعديلات جودة مُحدَّدة إدارياً، ينبثق وكيل العمل من منافسة اقتصادية حقيقية حيث يحمل التحريف عواقب مالية فورية.

الأهم أن القياس القائم على إثبات العمل يتجنب مشاكل التأخر الزمني والمراجعة التي تعترض المؤشرات المؤسسية. حيث تخضع أرقام مؤشر أسعار المستهلك لمراجعات جوهرية مع توفر بيانات أفضل، تتعدَّل صعوبة سلسلة الكتل تلقائياً استناداً إلى السلوك التعديني المُتحقق منه، محققةً كشف إشارة التكلفة آنياً دون الاعتماد على بيانات مسح متأخرة أو تصحيح إحصائي لاحق.

٣.٤ التداعيات على السياسة النقدية

يصبح الفارق بين القياس المُدار باللجان والقياس المكشوف تنافسياً بالغ الأهمية للآليات النقدية العاملة دون رقابة تقديرية. حيث تستطيع السياسة النقدية التقليدية التكيف مع مراجعات مؤشر أسعار المستهلك والتحديثات المنهجية عبر تدخل البنك المركزي، تستلزم الأنظمة الخوارزمية مدخلات قياس آنية ومقاومة للتلاعب في آنٍ واحد.

تمثل الآلية المقترحة المقترنة بالعمل تطبيقاً لهذا المبدأ في القياس التنافسي: بدلاً من تتبع مؤشرات أسعار خارجية تُضمِّن خيارات المنهجية المؤسسية، يستجيب النظام لإشارات التكلفة المنبثقة ميكانيكياً من النشاط التعديني التنافسي. يقايض هذا النهج اتساع مؤشرات القوة الشرائية التقليدية بمقاومة التلاعب والتوفر الآني لتكاليف العمل المكشوفة تنافسياً.

٥ نظرة عامة على الآلية: حلقتان مقترنتان

تتضمن الآلية مكوِّنين مقترنين:

١.٥ (أ) إصدار الذيل التكيفي (حلقة المصدر)

إصدار ذيل دون خطي مقترن بالعمل يُعدِّل معدل الإصدار طويل الأمد باستخدام (W_n, W_{n-1}) وحالة الذيل السابقة R_n^{tail} فقط.

٢.٥ (ب) الإحراق في السوق (حلقة المصرف)

تُحرق العملات عبر:

- إحراق جزئي للرسوم: تُحرق نسبة ثابتة من رسوم المعاملات.
- الإحراق للتعبير: يُحرق المستخدمون العملات تنافسياً لشراء انتباه نادر أو أولوية نشر، مُسعَّرة بوحدات العملة فقط (لا وسيط).

٦ قاعدة إصدار الذيل التكيفي

١.٦ التحديث المتشابه دون الخطي

ليكن $\gamma \in (0,1)$ أُساً ثابتاً، نُبرز $\gamma = \frac{1}{2}$ (الجذر التربيعي) مرشحاً طبيعياً.
نُعرِّف التحديث ذا الحالة:

$$R^{\text{tail}}_{n+1} = \text{clip}\left(R^{\text{tail}}_{n} \cdot \left(\frac{W_n}{W_{n-1}} \right)^{\gamma},\ R_{\min},\ R_{\max} \right),$$

حيث:

- $R_{\min} > 0$ يضمن حافز دعم أساسي مستمر للتعدين.
- $R_{\max}$ يمنع الصدمات النادرة أو الحالات الحدية من تفجير الإصدار.
- $\text{clip}(x, a, b) := \min(\max(x, a), b)$.

هذا التحديث متشابه بمعنى أنه يعتمد فقط على نسب الكميات المرئية للبروتوكول ويتركب ضربياً عبر الزمن:

$$R^{\text{tail}}_{n+m} \approx R^{\text{tail}}_{n} \cdot \prod_{i=0}^{m-1} \left(\frac{W_{n+i}}{W_{n+i-1}} \right)^{\gamma},$$

رهناً بالقص.

٢.٦ لماذا دون الخطي $(\gamma < 1)$

لو تناسب الإصدار خطياً مع العمل (أي $\gamma = 1$ فعلياً)، قد تخلق الزيادات الكبيرة في W حوافز جامحة يفضي فيها التعدين المتزايد إلى إصدار متناسب، مزعزعاً التوازن. يُعتدل هذا بالاستجابة دون الخطية $(\gamma < 1)$، محافظةً على نظام التغذية الراجعة السلبية.

٣.٦ مكوِّن الانطلاق

نفترض دعماً انطلاقياً متناقصاً باستمرار:

$$R^{\text{boot}}_{n} = R_0 \cdot \exp(-\lambda n),$$

مُصمَّماً لاستقطاب المشاركة المبكرة دون صدمات التنصيف المتقطعة. هذا المكوِّن مستقل عن الذيل التكيفي ويمكن معايرته لتوزيع شريحة أولية أسرع من بيتكوين.

٤.٦ مقاومة التلاعب في إشارة نسبة العمل

ليكن معدِّن يسيطر على حصة μ من قوة التجزئة يكبح المشاركة بمقدار ε في الكتلة $n-1$ ويستعيدها في الكتلة n، رافعاً W_n/W_{n-1}.

- ترتفع نسبة العمل إلى نحو $(1-\varepsilon\mu)^{-1}$.
- يزداد إصدار الذيل بمقدار $\Delta R \approx R^{\text{tail}}_{n} \cdot \varepsilon\mu\gamma$.
- حصة المعدِّن من المكسب: $\mu^2\varepsilon\gamma R^{\text{tail}}_{n}$.
- تكلفة الكبح: $\varepsilon\mu \cdot P_n(R_n + (1-\beta)F_n)$.
- لا يكون التلاعب مربحاً إلا حين $\mu\gamma R^{\text{tail}}_{n} > P_n(R_n + (1-\beta)F_n)$.
- بما أن $R^{\text{tail}}_{n} \le R_n$ و$\gamma < 1$، يتجاوز هذا العتبة γ ويقترب من 1 مع $\gamma \to 0$. توفر الاستجابة دون الخطية إذن مقاومة للتلاعب تتحسن بانخفاض γ.

٧ الإحراق الثابت للرسوم والإحراق للتعبير

١٠٧ الإحراق الثابت للرسوم

ليكن $\beta \in (0,1)$ ثابتاً للبروتوكول (لا وسطاء، لا تعديل حوكمة). لكل كتلة:

$$B_n^{\text{fee}} := \beta F_n, \qquad F_n^{\text{miner}} := (1-\beta) F_n.$$

هذا يجعل ``إعادة تدوير" البريد المزعج الذاتي للمعدِّن غير مجانية، إذ تُحرق نسبة من الرسوم.

٢٠٧ الإحراق للتعبير كمصرف داخلي

ليكن $\mathcal{S}_n$ مجموعة أحداث ``التعبير" (منشورات، رسائل، معاملات مُروَّجة) في الكتلة n، لكل منها مقدار إحراق $b_i \geq 0$. نُعرِّف:

$$B_n^{\text{b2s}} := \sum_{i \in \mathcal{S}_n} b_i, \qquad B_n := B_n^{\text{fee}} + B_n^{\text{b2s}}.$$

يُحكَم توزيع الانتباه بقاعدة رتيبة في b_i (مثلاً ترتيب الرتبة، الحصة النسبية، أو المزاد). يُحدَّد آلية الإحراق للتعبير رسمياً بروتوكولاً موزعاً لمكافحة البريد المزعج في [?]، الذي يوفر التطبيق الكامل لطبقة التطبيقات بما في ذلك بناء إثبات الدفع والتحقق من خادم التتابع والبث عبر النشر-الاشتراك. الأهم أن b_i يُختار بوحدات العملة. لا تؤثر الأسعار الخارجية (الدولار) على السلوك إلا عبر مشاركة السوق الطوعية: إذا أصبحت العملة أرخص خارجياً، يمكن للمعلنين الحصول على مزيد من العملات وإحراقها للتنافس على الانتباه ذاته، رافعين B_n^{b2s} دون أي وسيط. مع نمو قيمة الشبكة نمواً فوق خطي مع تبني المستخدمين [?]، قد ينمو طلب الإحراق للتعبير بمعدل يتجاوز الخطي مع عدد المستخدمين، موفراً مصرفاً داخلياً يتعزز بالتبني.

نموذج الطلب. ليكن $D(P_n)$ إجمالي طلب الإحراق المُقيَّم بالعملة عند السعر الخارجي P_n. مع N معلناً يحمل كل منهم ميزانية فيات ثابتة b، يُحوِّل كل منهم إلى عملات ويحرقها: $B_n^{\text{b2s}} \approx Nb/P_n$. عند انخفاض P_n، يرتفع الإحراق المُقيَّم بالعملة بشكل متناسب --- يتعزز المصرف عند انخفاض السعر، وهو الاتجاه المطلوب للتغذية الراجعة السلبية. هذه الآلية القائمة على ميزانية الفيات تجعل طلب الإحراق غير مرن بوحدات العملة ومرناً بوحدات الفيات، موفرةً الاستجابة الاستقرارية الداخلية دون الحاجة إلى أي وسيط.

٨ مخطط التوازن القائم على التوقع

نستدل نوعياً بالتوقع.

نفترض (كما في حجج الأمان القياسية بلا إذن [?]) أن توفير العمل طويل الأمد مرتبط بإيرادات المعدِّن المتوقعة بوحدات خارجية:

$$\mathbb{E}[W_n] \text{ يزداد مع } \mathbb{E}[P_n] \cdot \mathbb{E}[R_n + F_n^{\text{miner}}].$$

نؤكد أن P_n وk_e^* ليسا مدخلات وسيط، يظهران فقط في المعايرة في وقت التصميم والتفسير الاقتصادي.
تقترن الآلية المقترحة:

- عمل أعلى ⇒ إصدار ذيل أعلى (دون خطي)،
- انخفاض السعر الخارجي ⇒ إحراق تنافسي متزايد للتعبير (بوحدات العملة) لميزانية تسويق خارجية معطاة،
- إحراق الرسوم ⇒ مصرف مستمر وتكلفة مكافحة البريد المزعج حتى في ظل سيطرة المعدِّن.

ومن ثمَّ فإن تغير صافي العرض بالتوقع:

$$\mathbb{E}[\Delta S_n] = \mathbb{E}[R_n^{\text{boot}} + R_n^{\text{tail}} + F_n - (\beta F_n + B_n^{\text{b2s}})].$$

يُنشد شبه الاستقرار عبر نظام تغذية راجعة سلبية حيث:

- يرفع نمو الطلب السريع P_n وW_n،
- تزيد قاعدة الذيل الإصدار دون خطياً (معتدِلةً ارتفاع السعر)،
- يوفر الإحراق للتعبير وإحراق الرسوم مصرفاً يتنامى مع الاستخدام/التنافس على الانتباه،
- يُقلِّص الاقتران التذبذبات الشديدة المدفوعة بالندرة مع الحفاظ على حوافز أمان إثبات العمل.

لا نزعم استقراراً تاماً؛ الادعاء هو أن النظام يحمل ميلاً تثبيتياً داخلياً دون قياس مؤسسي. خلافاً لأنظمة إثبات الحصة حيث يمكن للمدققين تحسين القيمة القابلة للاستخراج القصوى (MEV) عبر سباقات بنية تحتية متطورة [?, ?]، يواجه معدِّنو إثبات العمل فرص تحسين محدودة بطبيعتها، مُقلِّصاً إزاحة الإنفاق الأمني إلى قنوات غير شفافة.

١٠٨ توصيف الصدمات

الصدمات المعالَجة جيداً: تتدفق التحسينات التقنية التدريجية (الانخفاض العلماني في k_e^*) ونمو الطلب عبر إشارة العمل، مما يسمح لقاعدة الذيل بالاستجابة بشكل متناسب.

الصدمات المعالَجة بضعف: تُحوِّل الانقطاعات المفاجئة في أسعار الطاقة k_e^* دون تغيير مرئي فوري في W_n، مُولِّدةً نافذة خروج عن التوازن قبل تعديل الصعوبة. قد تدفع قفزات كبيرة مفاجئة في معدل التجزئة (جيل جديد من معدِّنات ASIC) W_n/W_{n-1} عابراً خارج نظام الاستقرار؛ حدود القص $(R_{\min}, R_{\max})$ تحتوي ذلك لكن لا تُلغيه.

هذه القيود متأصلة في التصميم الخالي من الوسطاء. المقارنة المعنية ليست بمخطط مُعلَم كلياً بل بالحوكمة التقديرية، التي تستجيب للصدمات عبر قرار لجنة بمخاطر مصداقية واستيلاء خاصة بها.

ملاحظة حول تذبذب أسعار الطاقة. هدف شبه الاستقرار هو الاستقرار نسبةً إلى تكلفة الطاقة، لا نسبةً إلى العملة الورقية. تُظهر أسعار الطاقة تذبذبها الجوهري الخاص (تأرجحت أسعار الغاز الطبيعي نحو 5 أضعاف خلال عام 2022). ستَرِث العملة إذن تبايناً متبقياً لأسعار الطاقة. هذه تبعة تصميمية لقيد الخلو من الوسطاء: الطاقة تكلفة ديناميكية حرارية حقيقية مرسَّخة في الفيزياء، خلافاً لسلة استهلاك مُعرَّفة من لجنة. لا ينبغي لمصممي النظام توقع استقرار سعر الفيات كمخرج مباشر؛ النتيجة المقصودة هي تخفيض التذبذب الشديد المدفوع بالندرة نسبةً إلى نظام العرض الثابت، لا ربط صارم.

٢٠٨ تحليل الاستقرار الرسمي تحت الديناميكيات المُخطَّطة

نقدم حجة استقرار قائمة على ليابونوف لآلية الحلقتين في جوار التوازن.

الإعداد. نُعرِّف الثالوث التوازني (R^*, W^*, P^*) المُحقِّق لشروط التوازن التعديني وتوازن العرض:

$$P^* R^* = W^* k_e, \tag{ME}$$
$$Nb/P^* = R^*. \tag{SB}$$

حيث k_e التكلفة الطاقوية الهامشية لكل وحدة عمل، وN وb عدد المعلنين وميزانية الفيات من نموذج الطلب في القسم ??. لتكن انحرافات اللوغاريتم عن التوازن:

$$r_n = \log(R_n^{\text{tail}}/R^*), \qquad w_n = \log(W_n/W^*), \qquad p_n = \log(P_n/P^*).$$

الديناميكيات المُخطَّطة. تحت ثلاثة افتراضات مبسِّطة: (أ) القص غير نشط قرب التوازن؛ (ب) يتعدَّل معدل التجزئة آنياً لمساواة إيراد المعدِّن بالتكلفة الهامشية ($W_n k_e = P_n R_n^{\text{tail}}$)، مُعطياً $w_n = p_n + r_n$ للرتبة الأولى؛ (ج) يستجيب السعر لانحراف صافي العرض بحساسية $\phi > 0$، أي $p_{n+1} \approx (1-\phi)p_n - \phi r_n$؛ بالتعويض ينتج تكرار ذاتي من الرتبة الثانية لانحراف العمل:

$$w_{n+1} = (1 - \phi + \gamma)\, w_n - \gamma\, w_{n-1}. \tag{١}$$

انحراف صافي العرض يُحقق $\Delta S_n / S \approx r_n + p_n = w_n$ قرب التوازن، إذاً $w_n \to 0$ يعني تلاشي الإصدار الصافي.

مبرهنة ١ (استقرار ليابونوف لآلية الحلقتين). إذا كان $\phi \in (0,\, 2 + 2\gamma)$، فإن جذور التكرار (??) المميزة تقع داخل القرص الوحدي بصرامة، وتنطبق التالية:

١. توجد دالة ليابونوف تربيعية موجبة-محددة $V_n = \mathbf{w}_n^\top P\, \mathbf{w}_n$، حيث $\mathbf{w}_n = (w_n,\, w_{n-1})^\top$، مُحققةً $\Delta V_n \le -\eta\, V_n$ لبعض $\eta > 0$؛

٢. يتقارب w_n إلى الصفر هندسياً، ومن ثمَّ يتقارب انحراف صافي العرض $\Delta S_n / S \to 0$؛

٣. يتقارب r_n إلى حد منتهٍ r_∞، ويتجه $p_n \to -r_\infty$ (يستقر السعر بما يتسق مع توازن العرض عند المستوى الجديد).

برهان. كثيرة الحدود المميزة للتكرار (??) هي $\chi(\lambda) = \lambda^2 - (1-\phi+\gamma)\lambda + \gamma$، بمعاملات $a_1 = -(1-\phi+\gamma)$ و$a_0 = \gamma$. يتطلب معيار جوري للاستقرار للأنظمة ذات الزمن المتقطع من الدرجة الثانية: (أ) $|a_0| < 1$؛ (ب) $\chi(1) > 0$؛ (ج) $\chi(-1) > 0$. نتحقق من كل منها:

- $|a_0| = \gamma < 1$ إذ $\gamma \in (0,1)$. ✓
- $\chi(1) = 1 - (1-\phi+\gamma) + \gamma = \phi > 0$ إذ $\phi > 0$. ✓
- $\chi(-1) = 1 + (1-\phi+\gamma) + \gamma = 2 + 2\gamma - \phi > 0$ بشرط $\phi < 2 + 2\gamma$. ✓

جميع الشروط محققة في ظل $\phi \in (0, 2+2\gamma)$، إذاً كلا الجذرين يُحققان $|\lambda_i| < 1$.

لأي نظام خطي مستقر بمصفوفة رفيقة A (حيث $A = \left(\begin{smallmatrix} 1-\phi+\gamma & -\gamma \\ 1 & 0 \end{smallmatrix}\right)$)، تقبل معادلة ليابونوف المتقطعة $A^\top P A - P = -I$ حلاً وحيداً موجب-محدد P [?]. الشكل التربيعي المقابل $V_n = \mathbf{w}_n^\top P\, \mathbf{w}_n$ يُحقق $\Delta V_n = -\mathbf{w}_n^\top \mathbf{w}_n \le -\lambda_{\min}(P)^{-1} V_n$، إذاً $\eta = \lambda_{\min}(P)^{-1} > 0$.

يستلزم التناقص الهندسي لـw_n أن $\sum_n |w_n - w_{n-1}| < \infty$؛ بما أن $r_{n+1} - r_n = \gamma(w_n - w_{n-1})$، فإن المتسلسلة $r_n = r_0 + \gamma \sum_{k<n} (w_k - w_{k-1})$ تتقارب تقارباً مطلقاً. يُحقق الحد $r_\infty + p_\infty = \lim_n w_n = 0$. □

ملاحظة (التفسير الاقتصادي لشرط الاستقرار). يُقيِّد الحد $\phi < 2 + 2\gamma$ حدةَ استجابة السعر لعدم توازن العرض. إذا كانت حساسية السعر مفرطة، يتجاوز إصدار الذيل والتغذية الراجعة للسعر الهدفَ مُنتِجاً تذبذبات. يُوسِّع الأس دون الخطي γ منطقة الاستقرار: γ الأصغر (إصدار أكثر تحفظاً) يضيِّقها في الوقت ذاته مع تحسين مقاومة التلاعب (القسم ??). ينبغي لهذه المقايضات إرشاد معايرة المعاملات.

ملاحظة (عدم تحديد مستوى السعر). تضمن المبرهنة ?? التقارب إلى بعض التوازن المتوازن للعرض $(R_\infty^{\text{tail}}, P_\infty)$ لكن ليس تحديداً إلى الزوج المرجعي (R^*, P^*). يعكس ذلك عدم تحديد مستوى السعر القياسي في النماذج النقدية المتوازنة للعرض: يعتمد مستوى التوازن على الشروط الأولية، في حين يكون تباين التوازن محدوداً. ربط مستوى سعر بعينه سيستلزم وسيطاً أو سياسة تقديرية --- مستبعدان بالتصميم.

نطاق الحجة. يُطبَّق البرهان الرسمي على النظام المُخطَّط قرب التوازن تحت افتراضات مثالية (تعديل آني لمعدل التجزئة، قص غير نشط، طلب إحراق بميزانية فيات). التأثيرات غير الخطية وصدمات التنصيف المتقطعة وتشبع حد القص خارج نطاق هذه الحجة؛ تُعالَج تأثيراتها بالمحاكاة في القسم ??.

٩ ملاحظات التطبيق (خادم على غرار بيتكوين)

١.٩ لا حاجة للبحث في معاملات العملة الأساسية

R_n^{tail} مُعرَّف كدعم فقط (يستثني الرسوم). تحتفظ العقد بـR_n^{tail} كمتغير حالة إجماع في chainstate/index، مُحسوب محدداً من:

$$(R_{n-1}^{\text{tail}}, W_{n-1}, W_{n-2}).$$

أثناء التحقق، يُفرض:

$$\text{دعم العملة الأساسية} \le R_n^{\text{boot}} + R_n^{\text{tail}},$$

فيما تُعالَج الرسوم كالمعتاد (مع تطبيق نسبة الإحراق الثابتة بموجب قواعد الإجماع).

٢.٩ وكيل العمل من الترويسة فقط

W_n مُشتق مباشرةً من nBits (بتات الهدف)، لذا لا تلزم إلا الترويسات الأخيرة. لا حاجة للمسح التاريخي الكامل.

٣.٩ الحساب بالنقطة الثابتة

لتجنب عدم الحتمية في النقطة العائمة، يُطبَّق $(W_n/W_{n-1})^{\gamma}$ باستخدام تقريب كسري بالنقطة الثابتة؛ لـ$\gamma = \frac{1}{2}$، طرق الجذر التربيعي الصحيح بسيطة ومستقرة.

١٠ مناقشة: التبني والانطلاق غير الإكراهي

التصميم غير إكراهي: الطلب ينبثق من المنفعة الطوعية. الإحراق للتعبير يحتاج سطحاً انتباهياً؛ لذا مسار انطلاق عملي هو نشر النظام في مجال يكون الانتباه فيه نادراً بالفعل (مجتمع، نشر، منتديات عرضة للبريد المزعج) بحيث يكون للإحراق نفعية فورية. يوفر CashWeb [?] تحديداً طبقة التطبيقات هذه: بروتوكول رسائل موزع يعمل فيه آلية الإحراق للتعبير في آنٍ واحد كردع للبريد المزعج على مستوى التطبيق ومصرف داخلي للعرض على مستوى النقد. يُولِّد النشر ضمن شبكة رسائل CashWeb إذن المنفعة والاستقرار النقدي في نظام واحد. يمكن للشريحة الانطلاقية المُعجَّلة استقطاب المشاركة المبكرة، فيما تُحكَم الديناميكيات طويلة الأمد بحلقتَي الذيل والإحراق لا بصدمات ندرة مستمرة.

مرحلة الانطلاق الباردة. تفترض ضمانات الاستقرار في المبرهنة ?? طلب إحراق غير صفري؛ لا تنطبق في مرحلة الانطلاق الباردة حيث نشاط الإحراق للتعبير ضئيل. في هذه المرحلة حلقة المصرف غير نشطة فعلياً والإصدار يُحكَم بـR_n^{boot} وحده. الانطلاق البارد ليس وضعاً خاطئاً بل مرحلة تصميم معروفة: يُحجَّم المكوِّن الانطلاقي تحديداً للحفاظ على مشاركة التعدين ريثما يتراكم أثر الشبكة لطبقة التطبيقات. تصبح ضمانات الاستقرار سارية حين يكون طلب الإحراق كبيراً بما يكفي ليُعوِّض الإصدار تعويضاً ذا معنى --- عتبة ينبغي تقديرها أثناء معايرة المعاملات استناداً إلى أعداد المتبنين المبكرين المتوقعة.

١١ استنتاج المعاملات والمعايرة (الاختيار الرقمي مُؤجَّل)

يشتق هذا القسم كيفية اختيار المعاملات الرئيسية من توازن مرجعي. القيم الرقمية مُؤجَّلة إلى التطبيق عمداً، إذ تعتمد على كفاءة الأجهزة وأسعار الكهرباء السائدة وأمان الأساس المطلوب ونظام التشغيل ``الناضج'' المقصود.

١٠١١ التوازن المرجعي

نُثبِّت مستوى السعر الخارجي المستهدف P^* ونقطة تشغيل مرجعية موصوفة بـ:

- W^*: وكيل العمل المرجعي لكل كتلة (مشتق من صعوبة/هدف الترويسة)،
- k_e^*: التكلفة الخارجية الهامشية لكل وحدة عمل (دولار/وحدة-W)،
- F^*: حجم الرسوم المرجعي بالعملة لكل كتلة،
- β: نسبة إحراق الرسوم الثابتة (ثابت البروتوكول).

ليكن مكوِّن الرسوم الذي يستلمه المعدِّن $(1-\beta)F^*$، وإجمالي الدعم:

$$R^* = R^{\text{boot},*} + R^{\text{tail},*}.$$

شرط توازن من الرتبة الأولى يُساوي إيراد المعدِّن الخارجي المتوقع لكل كتلة بالتكلفة الخارجية الهامشية:

$$P^*\big(R^* + (1-\beta)F^*\big) \approx W^* k_e^*.$$

حل إجمالي الدعم المطلوب يُعطي:

$$R^* \approx \frac{W^* k_e^*}{P^*} - (1-\beta)F^*.$$

بالنظر إلى قيمة جدول الانطلاق المُختارة $R^{\text{boot},*}$ في تلك الحقبة، يكون مستوى الذيل الضمني:

$$R^{\text{tail},*} \approx R^* - R^{\text{boot},*}.$$

٢٠١١ تهيئة حالة الذيل وتحديدها

قاعدة الذيل ذات الحالة

$$R^{\text{tail}}_{n+1} = \text{clip}\Big(R^{\text{tail}}_n \cdot \Big(\frac{W_n}{W_{n-1}}\Big)^{\gamma},\ R_{\min},\ R_{\max}\Big)$$

لا تحتاج إلى ثابت تحجيم مستقل. بدلاً من ذلك، يُختار:

- حالة أولية R^{tail}_0 (مُعيَّنة قرب $R^{\text{tail},*}$ للنظام الانطلاقي المقصود)،
- حد أدنى موجب $R_{\min} > 0$ للحفاظ على حافز التعدين الأساسي عند انهيار الطلب،
- حد أقصى اختياري $R_{\max}$ كثابت أمان ضد الصدمات النادرة.

عملياً، يمكن تحديد $R_{\min}$ كنسبة من مستوى الذيل المرجعي، $R_{\min} = \eta R^{\text{tail},*}$ لبعض $\eta \in (0,1)$، فيما يُعيَّن $R_{\max}$ ``كبيراً بما يكفي" أو كثابت صريح. جميع هذه الاختيارات الرقمية مُؤجَّلة إلى التطبيق والاختبار التجريبي.

٣٠١١ اختيار أس دون الخطية

يُحكَم الأس $\gamma \in (0,1)$ الاستجابةَ ويتجنب حوافز الانفلات الخطي مع العمل. مرشح طبيعي هو $\gamma = \frac{1}{2}$ (الجذر التربيعي)، لكن يمكن للبروتوكول معاملة γ كثابت مُختار أثناء التطبيق بعد محاكاة وتحليل تنافسي.

٤.١١ التفسير

توفر معادلات المعايرة أعلاه جسراً بين (أ) نظام السعر الخارجي المرغوب P^* و(ب) نظام أمان/عمل الأساس المقصود W^* بالنظر إلى تكاليف الطاقة/الأجهزة الخارجية. البروتوكول نفسه لا يرصد P^* أو k_e^*؛ هذه كميات معايرة في وقت التصميم تُستخدم فقط لاختيار الثوابت الأولية.

١٢ قائمة المحاكاة والتحقق

قبل النشر، المحاكاة التالية كافية للتحقق من السلوك النوعي وتحديد اختيارات المعاملات. لا وسطاء خارجيين مطلوبين.

- مسوحات المعاملات: تغيير $\gamma \in (0,1)$ (مع التركيز على $\gamma = \frac{1}{2}$)، نسبة إحراق الرسوم β، حد الذيل الأدنى $R_{\min}$، وحالة الذيل الأولية R_0^{tail}.
- صدمات الطلب: إدخال صدمات خطوة ودفعية على طلب المعاملات ونشاط الإحراق للتعبير؛ رصد تقارب R_n^{tail} وصافي الإصدار ΔS_n.
- صدمات التعدين: محاكاة زيادات/انخفاضات مفاجئة في قوة التجزئة المتاحة (مثلاً تغييرات جيل ASIC) والتحقق من استجابة الإصدار المحدودة في ظل القاعدة دون الخطية.
- السيناريوهات التنافسية: نمذجة محاولات البريد المزعج الذاتي للمعدِّن وإعادة تدوير الرسوم والإضرار التعديني المؤقت للتأكد من أن إحراق الرسوم الثابت يفرض تكلفة لا يمكن اختزالها.
- الإشباع طويل الأمد: الحفاظ على وكلاء المستخدم/النشاط ثابتة والتحقق من تقارب الإصدار إلى نظام ثابت لا إلى نمو خطي.
- الاستقرار العددي: التحقق من حدود الحساب بالنقطة الثابتة وثوابت القص لضمان السلوك المحدد عبر التطبيقات.

هذه المحاكاة مُصمَّمة للتحقق من الاستقرار وهيكل الحوافز لا للتنبؤ بمسارات الأسعار الدقيقة.

١٣ خاتمة

حددنا آلية نقدية قائمة على إثبات العمل: (أ) تستخدم فقط إشارات العمل المرئية للبروتوكول للإصدار الذيلي التكيفي، و(ب) تدمج مصرف إحراق خالٍ من الوسطاء عبر إحراق الرسوم والإحراق للتعبير. يهدف النظام الناتج إلى شبه الاستقرار نسبةً إلى الطاقة بربط الإصدار والإحراق بالعمل المكشوف تنافسياً والتنافس الداخلي على الانتباه، متجنباً الإصدار التقديري والقياس المؤسسي. يُبرهن هذا النهج على كيفية أن يحل الكشف التنافسي عن التكلفة محل مؤشرات الأسعار المُدارة باللجان في تصميم السياسة النقدية الخوارزمية. ينبغي للعمل المستقبلي صياغة شروط الاستقرار بافتراضات سلوكية صريحة واستكشاف أنظمة المعاملات لـγ و$(R_{\min}, R_{\max})$ وβ.

المراجع

[١] Labor, of Department U.S. CPI. the in Adjustment Quality Hedonic Statistics. Labor of Bureau .2019 https://www.bls.gov/cpi/quality-adjustment/hedonic-quality-adjustment.htm

[٢] More a Toward Jorgenson. W. D. and Griliches, Z. Gordon, J. R. Dulberger, R. E. Boskin, J. M. the from Committee Finance Senate the to Report Final Living: of Cost the of Measure Accurate .1996 Committee, Finance Senate U.S. Index. Price Consumer the Study to Commission Advisory https://www.ssa.gov/history/reports/boskinrpt.html

[٣] Economy, Political of Journal Blockchain. the and Bitcoin of Limits Economic The Budish. E. .2022 ,678--636:(3)130

[٤] Chancellor, S. "CashWeb: A Cryptocurrency-Integrated Messaging Protocol for Anti-Spam Federated Systems, Publish-Subscribe and Preprint, 2026.

[٥] Chancellor, S. "Issuance and Energy, Expenditure, Security in Legibility Permissionless Consensus, Preprint, 2026.

[٦] Daian, P., S. Goldfeder, T. Kell, Y. Li, X. Zhao, I. Bentov, L. Breidenbach, and A. Juels, "Flash Boys 2.0: Frontrunning, Transaction Reordering, and Consensus Instability in Decentralized Exchanges," in 2020 IEEE Symposium on Security and Privacy, pages 910--927, 2020.

[٧] Flashbots Research, "MEV-Explore: A Live Dashboard of MEV Activity," https://explore.flashbots.net/, 2021.

[٨] Rudd, B. J. and E. D. Lebow, "Index: Price Consumer the in error Measurement a Literature," Journal of Economic, 41(1):159--201, 2003.

[٩] Metcafle, B., "Metcafle's Law: A Network Becomes More Valuable as More Users Reaches It," Infoworld, 17(40):53--54, 1995.

[١٠] Nakamoto, S., "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system," https://bitcoin.org/bitcoin.pdf, 2008.

[١١] Plassaras, N., "Regulating Digital Currencies: Bringing Bitcoin within the Reach of IMF," Chicago Journal of International Law, 14(1):377--407, 2013.

[١٢] Todd, P., "Surprisingly, Bitcoin's tail emission is not inflationary," https://petertodd.org/2022/surprisingly-tail-emission-is-not-inflationary, 2022.

[١٣] Weinstein, E., "Adversarial Measurement and the Information Economy," Weinstein, 2021.

[١٤] Khalil, H. K., "Nonlinear Systems," Prentice Hall, third edition, 2002. (Discrete-time Lyapunov theory: Theorem 7.4 and surrounding material.)