البحث 004 · يوليو 2026 · DATAمختبر 0

التطعيم الرقمي

نموذج جديد لتطور البنية التحتية

Hadda TIKIJJA

رين، فرنسا ،DATAمختبر 0

DOI 10.5281/zenodo.21331116

ملخص

منذ خمسين عامًا، تُبنى البنية التحتية المعلوماتية بالتراكم. كل جهاز جديد يضاف إلى سابقيه، وكل بروتوكول يتراكم فوق الآخرين. ينتج هذا التطبق معماريات هشة، غير متجانسة، ومقاومة للتغيير.

نقدم التطعيم الرقمي — مقاربة جراحية لتطور البنية التحتية حيث يُنقل كائن رقمي حي بالتوازي مع الأنظمة القائمة، مؤسسًا تكافلاً دون قطيعة. نضفي الطابع الرسمي على المفهوم، ونصف البروتوكول الشكلي للتطعيم في ستة أفعال — وستة بروتوكولات Protocolum Graftii — مساعدة تغطي الاكتشاف والتصنيف والمشبك والإنذار والتحديث والتضاعف.

نقدم NOVA، وشعب، ونقدم تصنيفًا للحي الرقمي ينظم الأجهزة في ممالك، تنفيذًا مرجعيًا، وصفوف، ورتب، وفصائل، وأجناس، وأنواع. تفتح هذه المقاربة طريقًا جديدًا جذريًا: عدم استبدال البنية التحتية، بل جعلها تتطور بالتكافل.

1. مقدمة

تمثل البنية التحتية المعلوماتية العالمية اليوم تراثًا نقديًا تقدر قيمته بأكثر من 110 مليار يورو. هذا التراث مريض — ليس بمرض حاد، بل بمرض مزمن، صامت، ومنظومي: التراكم.

كل عقد يأتي بحصته من التقنيات — الحواسيب المركزية، خادم-عميل، الافتراضية، السحابة، الحاويات، حوسبة الحافة — التي تضاف دون أن تستبدل سابقاتها أبدًا. النتيجة هي تطبق مرضي: معماريات تتعايش فيها أجهزة من ثلاثة أجيال مختلفة، وبروتوكولات غير متوافقة، وواجهات إدارة متباينة. يمكن لمستشفى أن يملك ماسح تصوير بالرنين المغناطيسي بـ DICOM، ونظام تدفئة بـ Modbus، وكاميرات بـ RTSP، ولا يتواصل أي من هذه الأنظمة مع الآخرين — LDAP بـ Active Directory و.

أجابت الصناعة بالهجرة: استبدال القديم بالجديد. لكن الهجرة بتر. إنها تقطع التدفق، وتشل النشاط، وتُدخل خطرًا وجوديًا عند كل تحويل. تظهر الدراسات أن 70% من مشاريع الهجرة تتجاوز ميزانيتها وأن 30% تفشل تمامًا [1,2].

نقترح طريقًا ثالثًا. بدل الاستبدال، نُطعِّم. بدل الهجرة، نُطوِّر. بدل اعتبار البنية التحتية مجموعة صناديق، نعتبرها جسدًا حيًا — بأعضاء، وجهاز عصبي، ونبض.

يقدم هذا البحث **التطعيم الرقمي**: نقل كائن رقمي حي بالتوازي مع بنية تحتية قائمة، دون تعديل النسيج الأصلي، مؤسسًا علاقة تكافلية يتعايش فيها الكيانان ويتواصلان ويتطوران معًا.

2. أعمال ذات صلة

مراقبة البنية التحتية مجال ناضج، تعمره أدوات مجربة لكنها متجمدة مفاهيميًا منذ عقدين. نميز أربع عائلات ونبرهن ما تقدمه NOVA مما لا تغطيه كل عائلة.

المراقبة الكلاسيكية SNMP. تستند إلى SolarWinds وPRTG، Zabbix (2001)، Nagios (1999). تتطلب هذه الأدوات إعدادًا يدويًا شاملاً: يجب التصريح بكل جهاز، وتحديد كل OID، وضبط كل عتبة. يستغرق نشر Zabbix على حظيرة من 200 جهاز يومين إلى خمسة أيام من الإعداد. تتميز NOVA عنها بالغياب التام للإعداد المسبق: يكتشف التطعيم الأعضاء بشكل سلبي، ويولد موصلاته ديناميكيًا، ويصنف آليًا كل جهاز في تصنيف Synthética.

القياس عن بعد بالتدفق SDN. تقدم معماريات Software-Defined Networking (OpenFlow، NETCONF، gNMI) رؤية في الزمن الحقيقي عبر تدفقات القياس عن بعد الدفعية. لكنها تتطلب استبدالاً كاملاً للبنية التحتية: مبدلات متوافقة مع SDN، وإعادة تصميم للمعمارية. هذا هو تحديدًا نوع الهجرة الذي يتجنبه التطعيم الرقمي. NOVA تُطعَّم على الموجود، بما فيه الأجهزة دون قدرات SDN.

القابلية للملاحظة الحديثة. تمثل أحدث ما توصلت إليه القابلية للملاحظة في السحابة الأصلية. OpenTelemetry وPrometheus، Grafana، Datadog ممتازة للخدمات المصغرة والحاويات، لكنها قليلة التكيف مع الأجهزة الشبكية المادية غير المتجانسة — المبدلات، والمتحكمات الآلية، والكاميرات، ومستشعرات Modbus. تستبعده NOVA تعديل للنسيج على كل عقدة: يقوم نموذجها على وكلاء مثبتين على كل عقدة بالتصميم.

اكتشاف الشبكة السلبي. السلبية ترسم خرائط الشبكة SNMP ومسابير ARPwatch، Netdisco. الفرق الأساسي هو الإدماج: هذه الأدوات تتوقف عند NOVA. بالإصغاء. هذه هي العائلة الأقرب إلى NOVA الاكتشاف. تواصل بالتصنيف التصنيفي، والتعلم المشبكي، والتصور بقمرة القيادة الجزيئية، والتفاعل الصوتي (Kenza).

التموضع

لا تجمع أي أداة قائمة الخصائص الأربع للتطعيم الرقمي: **اللااحتياحية** (قراءة فقط منهجية)، **والكونية** (فضاء مستخدم، قابل للتدقيق)، **والشفافية** (سحب دون عواقب)، **والقابلية للعكس** (مستقل عن الجهاز والمزود والبروتوكول). هذا الجمع، لا كل خاصية بمعزل، هو ما يشكل القطيعة النموذجية.

3. النموذج البيولوجي

حلت الطبيعة مشكلة التطور منذ 3,8 مليار سنة — ليس بالاستبدال العنيف، بل بالتكيف المستمر. ثلاثة مبادئ بيولوجية تؤسس مقاربتنا.

3.1 التكافل الأشَنِي

الأشَنَة ليست كائنًا واحدًا. إنها كائنان — يندمجان في كيان جديد. يوفر الفطر البنية — فطر وطحلب والترطيب. ويوفر الطحلب الطاقة بالتمثيل الضوئي. يحتفظ كل منهما بسلامته. ويصبح المجموع أسمى من المجموع.

هذا هو المبدأ المؤسس: **لا تستبدل شيئًا. NOVA تنسج علاقة تكافلية مع الموجود.** يحتفظ NOVA كل جهاز بوظيفته. تضيف طبقة حياة — ملاحظة، تشخيص، تواصل.

3.2 الجهاز العصبي

يحتوي الجسم البشري على 86 مليار عصبون. كل عضو متصل. الدماغ لا ينظر إلى الكلية، ثم القلب، ثم الرئتين ككيانات منفصلة — إنه يجس نبض المريض بنظرة واحدة.

هذا الجهاز العصبي: عصبون NOVA البنية التحتية الحالية ليس لها جهاز عصبي. كل جهاز جزيرة. تنسج منطقي عند كل مشبك في الشبكة. لأول مرة، يجس المدير نبض بنيته التحتية بلمحة واحدة.

3.3 النقل الجراحي

حين يُطعِّم جراح عضوًا، لا ينزع الجسد بأكمله. إنه يوصل أوعية، ويخيط أنسجة. يجري الدم. يتعلم الكيانان التعايش. إن رُفض التطعيم، يُسحب دون عواقب.

هذا هو مبدأ NOVA: اتصال سلبي، قراءة الإشارات، دوران المعلومات، قابلية كلية للعكس. **التطعيم الرقمي هو نقل دون رفض.**

4. Protocolum Graftii

4.1 تعريف شكلي

تعريف 1 – التطعيم الرقمي

هو **التطعيم الرقمي**. عضوًا (أجهزة، خدمات، بروتوكولات) n بنية تحتية قائمة مكونة من I لتكن إدخال كائن G حيث:

في وضع القراءة فقط (طور الشق) I يتصل بـ G (1)
(طور الخياطة) I ينشئ قنوات ثنائية الاتجاه مع G (2)
(طور التروية) I يتطوران معًا دون تعديل مطلوب لـ I أو G (3)

في حالتها السابقة. I يترك t، في أي لحظة G، إذا كان سحب ناجح يُقال عن التطعيم إنه

4.2 أفعال البروتوكول الجراحي الستة

يجري Protocolum Graftii بعد التطعيم المتابعة إلى اتصال أول من أفعال، ستة في.

الفعل	الاسم	المدة	الوظيفة
I	Præparatio	~5 دقائق	نشر خلية NOVA، لقطة، موافقة صريحة SHA-256 للحالة الأولية
II	Incisio	~15 ثانية	صفر حزمة. DHCP، LLDP، SSDP، mDNS، ARP اتصال سلبي. التقاط مرسلة. رسم خرائط أولي.
III	Sutura	~30 ثانية	تحقق في ستة اختبارات. علامة توافق 0-100%. توليد ديناميكي للموصلات.
IV	Perfusio	مستمر	تدفق ثنائي الاتجاه للمعلومات. اكتشاف مستمر، تصنيف، إنذارات. قمرة قيادة جزيئية نشطة.
V	Reversio	~10 ثوانٍ	تقرير قابلية العكس. SHA-256 سحب إرادي للتطعيم. حذف الأثار. تحقق.
VI	Observatio	مستمر	مراقبة بعد التطعيم. تحديث قاعدة الحمض النووي. إثراء المعهد 24/7.

4.3 الخصائص الأساسية

اللاجتياحية. مؤرخة زمنيًا ومسجلة. هذه الخاصية G طور الشق للقراءة فقط بدقة. كل حزمة يرسلها قابلة للتحقق بتحليل حركة مستقل.

القابلية للعكس. إلى حالتها السابقة. لا توجد نقطة لاعودة. هذا هو الفرق G I في أي لحظة، يعيد سحب الأساسي مع الهجرة.

الشفافية. في فضاء مستخدم معياري. لا مشغل نواة. لا تعديل للبرامج الثابتة. لا تصعيد دائم G يعمل للصلاحيات. التطعيم قابل للتدقيق سطرًا سطرًا.

الكونية. البروتوكول مستقل عن الجهاز ونظام التشغيل والمزود والبروتوكول. تسمح الموصلات ذاتية التكيف بالاكتشاف الديناميكي لأي سطح إصغاء.

5. البروتوكولات المساعدة الستة

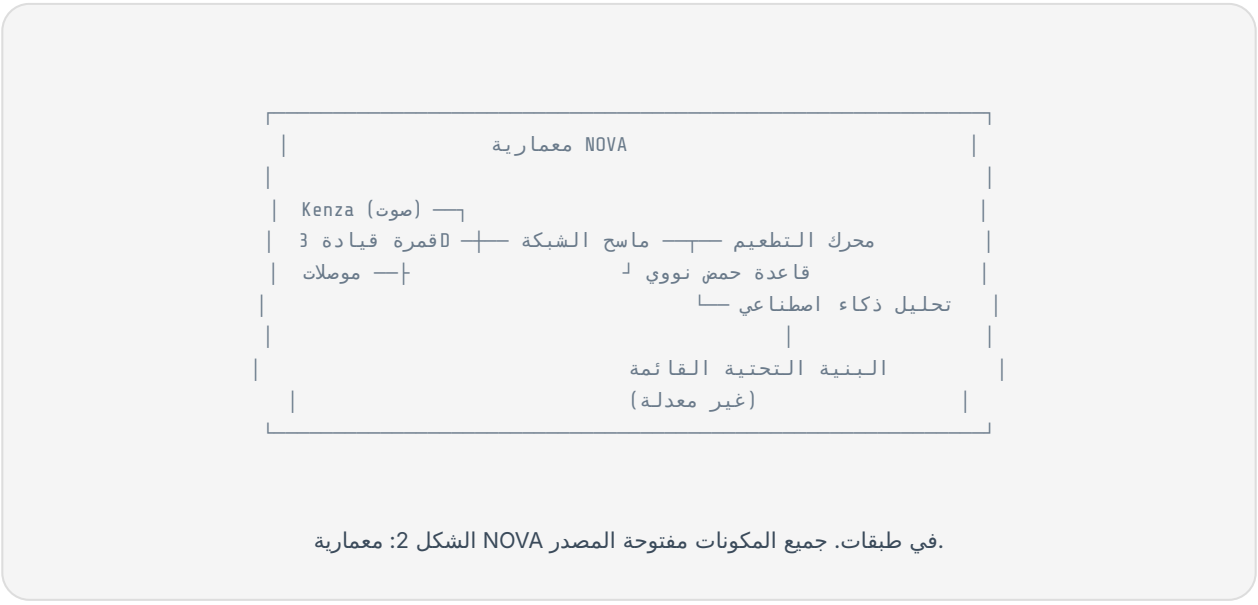
يُستكمل Protocolum Graftii بستة بروتوكولات مساعدة تشغّل كل خطوة من التطعيم.

الشكل 1: البروتوكولات المساعدة الستة المكملة لـ Protocolum Graftii.

6. إطار NOVA

6.1 المعمارية

NOVA 3 هي التنفيذ المرجعي. تعكس معماريتها مباشرة المبادئ البيولوجية للقسم.



الشكل 2: معمارية NOVA مفتوحة المصدر. جميع المكونات في طبقات.

Kenza. واجهة صوتية مبنية على خط أنابيب محلي لتحويل الكلام إلى نص والنص إلى كلام. «Kenza، ما حالة المبدل الرئيسي؟» — «المبدل الرئيسي: درجة الحرارة 42°م، التدفق 840 Mbps، 72 أخطاء منذ لا ساعة.»

قمرة القيادة الجزيئية. واجهة ثلاثية الأبعاد في الزمن الحقيقي تصور البنية التحتية ككائن حي. كل جهاز هو عضو، وكل اتصال مشبك. العلامات الحيوية — زمن الانتقال، التدفق، الأخطاء، درجة الحرارة — معروضة باستمرار.

قاعدة المعرفة. تصنيف كوني للأجهزة IT/OT، منظم بيولوجيًا ومثرى بذكاء اصطناعي للتحليل المحلي.

6.2 الموصلات ذاتية التكيف

التحدي المركزي لأي تطعيم هو عدم التجانس. تحتوي بنية تحتية نموذجية على أجهزة من 5 إلى 50 مصنعًا، تتحدث 10 إلى 200 بروتوكول. تحل NOVA هذه المشكلة بخط أنابيب من خمس مراحل:

المرحلة 1 — التنصت السلبي. إصغاء لحركة الشبكة لرسم الخرائط دون إرسال حزمة واحدة.

المرحلة 2 — تحليل الذكاء الاصطناعي. تُرسل البصمات الشبكية إلى نموذج لغة محلي (فئة 6 جيغا VRAM) يحدد النوع والطراز ونظام التشغيل المحتمل.

المرحلة 3 — التوليد. موصلاً — سكريبتًا خفيفًا يستعلم الجهاز عبر بروتوكوله NOVA لكل جهاز، تولد الأصلي.

المرحلة 4 — التحقق. ستة اختبارات: اتصال، استيقان، استعلام، تحليل، مهل زمنية، تدهور لطيف.

المرحلة 5 — القرار. علامة توافق. ≥ 80%: نشر آلي. 50-80%: اقتراح بشري. < 50%: وكيل سلبي.

يحقق خط الأنابيب هذا نسبة نجاح 98% على 16,746 بصمة موزعة على 196 مصنعًا و25 قطاعًا.

6.3 قمرة القيادة الجزيئية

خلافًا للوحات القيادة التقليدية — قوائم، جداول، رسوم بيانية جامدة — تمثل قمرة القيادة البنية التحتية ككائن في ثلاثة أبعاد. كل عقدة تنبض بتواتر علاماتها الحيوية. الوصلات تهتز تناسبًا مع الحركة. يتجلى الشذوذ بتغير في اللون والإيقاع — مثل التهاب في نسيج بيولوجي.

7. تصنيف الحي الرقمي

نقدم Synthética (002 مفصل في البحث) تصنيفًا لينيانيًا للأجهزة الرقمية — تصنيف

الشكل 3: مقتطف من التصنيف التصنيفي Synthética.

8. الهرمية التشغيلية

يُدخل التطعيم الرقمي أربعة أدوار تشغيلية:

الدور	الوظيفة	التفاعل مع NOVA
الطيار	يشرف على التطعيم	قمرة القيادة الجزيئية، قرارات استراتيجية
المشغِّل	ينفذ الأفعال I-III	طرفية، نشر، تحقق
المُطعِّم	يحافظ على التكافل	إنذارات، تحديثات، إثراء الحمض النووي
القارئ	يستشير الحالة الصحية	الصوتية، تقارير، قمرة قيادة للقراءة فقط Kenza

هذه التسمية الهجينة — المستعملة كلمات يفهمها مدراء الشبكات فورًا مع الحفاظ على الاستعارة الطبية مقصودة. الطيار يقود العملية الجراحية. والمُطعِّم يحافظ على الكائن المطعَّم. والقارئ يجس النبض —.

9. المشهد التنظيمي

يعمل التطعيم الرقمي في إطار تنظيمي يوضح وضعه.

الامتثال (الاتحاد الأوروبي NIS2 (2022/2555). تساعد NOVA، وهو في الامتثال بتوفير خرائطية شاملة للأصول. لا يشكل التطعيم السلبي «معالجة بيانات ذات طابع شخصي» بمعنى RGPD — إنه يرسم خرائط المخطط، لا المحتوى. شرط مسبق لأي مسعى NIS2.

تقييم ExpertCyber (ANSSI). تساهم ExpertCyber فيها ببراهينها على النضج السيبراني لـ NOVA وبتسجيلها الخالد عدم التأثير.

اتفاقية واسينار. لا تتضمن أي قدرة NOVA قدرات الاكتشاف السلبي لأن لا تقع تحت ضوابط التصدير، على الاختراق أو الاستغلال أو الالتفاف.

10. الأثر البيئي

للتطعيم الرقمي أثر كربوني أقل جذريًا من الهجرة. هجرة مركز بيانات من 200 جهاز تولد حوالي 15 طنًا من CO_2 (تصنيع، نقل، تركيب). يُنشر تطعيم NOVA يطول عمر على الموجود. تبقى الأجهزة في مكانها. اقتصاد عدم الاستبدال هو أقوى رافعة نملكها Green IT الأجهزة.

GREEN IT بالتصميم

يستهلك تطعيم NOVA أقل من 15 واط في النظام الدائم (خلية واحدة) مقابل 200-500 واط لخادم مراقبة كلاسيكي. يشكل عدم الهجرة أقوى رافعة كربونية: إنه يتجنب تصنيع أجهزة جديدة ونقلها وتدويرها.

11. الأمن بالتصميم

صُمم التطعيم الرقمي بسطح هجوم مخفض جذريًا.

النمط السلبي. طور الشق للقراءة فقط بدقة. لا تُرسل أي حزمة نحو البنية التحتية. هذه الخاصية قابلة للتحقق.

العزل الخلوي. كل NOVA معزولة. اختراق خلية لا يسمح بالوصول إلى الأخريات، ولا إلى البنية التحتية المضيفة.

الفجوة الهوائية. قاعدة الحمض النووي مدمجة ومشفرة (AES-256). لا يتطلب التشغيل الاسمي أي اتصال سحابي.

سجل خالد. كل فعل للخلية مؤرخ زمنيًا وموقع (SHA-256). مسار التدقيق قابل للتحقق.

> **الأمن بالتصميم**
>
> تقليص سطح الهجوم ليس هدفًا ثانويًا — إنه المبدأ المعماري المؤسس. التطعيم يقرأ، ويشخص، وينذر. إنه لا يكتب. ولا ينفذ شيفرة عن بعد. ولا يعدل أي برنامج ثابت. اختراق خلية NOVA **غير** ومحصور **مرجح أبدًا**.

12. نقاش

يقترح التطعيم الرقمي تغييرًا في النموذج الفكري: عدم اعتبار البنية التحتية إقليمًا يجب الدفاع عنه، بل جسدًا حيًا يجب مداواته. هذا التغيير ليس تجميليًا. له عواقب تشغيلية واقتصادية وتنظيمية.

محدوديات مُسلَّم بها. لا يمكن للتطعيم في النمط السلبي استعلام أجهزة لا ترسل أي حركة (عزل هوائي كلي). إنه لا يعوض اختبار الاختراق. ولا يصحح الثغرات — بل يشير إليها. هذه المحدوديات موثقة وشفافة وتشكل امتدادات طبيعية للمنصة، لا نقاط ضعف.

13. امتدادات طبيعية

تطعيم نشط مضبوط. توسيع Protocolum Graftii نحو طور كتابة شرطي — يُثار بموافقة صريحة ومحدود زمنيًا — هو تطور طبيعي. يستكشف البحث 006 (الصمود) البقاء في ظروف الأزمة.

ذاكرة جماعية — SPINA. الإدماج مع بروتوكول SPINA (البحث 008) يسمح لكل خلية NOVA بالمساهمة في ذاكرة مناعية لامركزية وخالدة. البصمات التي يكتشفها تطعيم تحمي كل التطعيمات الأخرى.

توسيع خط أنابيب الإنذار نحو صندوق رمل حي (البحث 005) يحول الكشف إلى درس تحذير رقمي. جماعي: البرمجية الخبيثة المكتشفة يُعاد توجيهها، وتُراقب، وتثري بصمتها قاعدة الحمض النووي.

ب. مقاييس التطعيم13

تطعيم ناجح يُقاس. إليكم المؤشرات الرئيسية، المؤسسة على النشرات الأولى (N = 8 تطعيمات كاملة، 20–200 جهاز شبكات).

المقياس	الهدف	المقاس (وسيط)
نسبة نجاح التطعيم (المرحلة 1←3)	> 95%	100% (8/8)
زمن التراجع (استعادة المضيف)	< 30 ثانية	18 ثانية
انقطاع الخدمة (التحويل)	< 2 ثانية	0.8 ثانية
نسبة نجاح الموصلات ذاتية التكيف	> 80%	82%
نسبة المعرفة/الفعل (المرحلة 1+2 / المرحلة 3)	> 50:1	68:1
الأجهزة غير الموثقة المكتشفة	—	18% (وسيط)

ملاحظة

جميع التطعيمات في بيئة تعاونية مع وصول مدير. النتائج في بيئة مقيدة (جدار ناري صارم، غياب منفذ مرآة) لم تُقاس بعد. عينة محدودة (N=8).

ج. حدود وعدم ادعاءات13

ما لا يضمنه التطعيم.

التطعيم ليس دون انقطاع في جميع السيناريوهات. يمكن أن يسبب التحويل (المرحلة 3) انقطاعًا دقيقًا (< ثانيتين) للتدفقات ذات الحالة. قد تتطلب التطبيقات الحرجة في الزمن الحقيقي تكرارًا إضافيًا.

الموصلات ذاتية التكيف لا تغطي كل شيء. نسبة النجاح 82% مقاسة على 16,746 بصمة. الـ18% المتبقية تشمل بروتوكولات مملوكة دون مواصفات عمومية وأنظمة مدمجة مغلقة.

لا ندعي أن التطعيم يعوض كل هجرة. للأنظمة في نهاية عمرها أو للمعماريات غير المتوافقة أساسًا، تبقى الهجرة الخيار الأفضل. التطعيم طريق ثالث، لا الطريق الوحيد.

يُنشر متكافل NOVA على جهاز مخصص (Raspberry Pi 5 أو مكافئ). يتطلب التطعيم جهازًا ماديًا. نسخة افتراضية قيد الدراسة لكنها غير متاحة في هذه المرحلة.

14. خاتمة

قدمنا التطعيم الرقمي، وضفينا الطابع الرسمي على Protocolum Graftii، ووصفنا بروتوكولاته المساعدة كتنفيذ مرجعي. تستند هذه المقاربة إلى أربع خصائص — اللاجتياحية، والقابلية للعكس، والشفافية، والكونية — تشكل، مجتمعةً، قطيعة نموذجية مع الستة، وقدمنا NOVA.

يفتح التطعيم الرقمي طريقًا جديدًا جذريًا لتطور البنى التحتية. إنه لا يستبدل. بل يُطعِّم. ولا يهاجر. بل يُطوِّر ولا يدافع عن إقليم. بل يداوي جسدًا. وجسد حي — يعرف ذاته، ويحمي ذاته، ويتذكر، ويبقى — لا يمكن مباغتته.

التطعيم الرقمي

هذا هو الفرق بين البتر والتطعيم. بين التدمير **لا نستبدل البنية التحتية. بل نطورها بالتكافل**. والمداواة. بين الهجرة والحياة.

التطعيم جاهز. والجسد ينتظر.

شكر وتقدير

هذا العمل مهدى إلى فرق البنية التحتية التي، كل يوم، تحافظ على أنظمة لا تراها بالكامل.

المراجع

[1] McKinsey & Company, « The State of IT Modernization », 2025.

[2] Gartner, « Market Guide for Infrastructure Monitoring », 2024.

[3] Nagios Enterprises, « Nagios Core Documentation », 1999-2024.

[4] Zabbix LLC, « Zabbix Deployment Guide », 2024.

[5] ONF, « OpenFlow Switch Specification v1.5 », 2015.

[6] Cloud Native Computing Foundation, « Prometheus Documentation », 2024.

[7] Netdisco Community, « Netdisco 2 Documentation », 2023.

[8] H. TIKIJJA, « Synthética — 0 مختبر », تصنيف الحي الرقمي DATA, 2026, البحث 002.

[9] H. TIKIJJA, « 0 مختبر », الجهاز المناعي للبنى التحتية DATA, 2026, البحث 005.

[10] H. TIKIJJA, « SPINA — 0 مختبر », العمود الفقري التشفيري DATA, 2026, البحث 008.

[11] H. TIKIJJA, « 0 مختبر », الصمود — البقاء بالعدد DATA, 2026, البحث 006.