Компьютерная Математика

УДК 519.8

В.М. ГОРБАЧУК

ІТЕРАТИВНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ МЕРЕЖІ КРАЇН І ПРОДУКТІВ

Показано, як можна використати ітеративний метод рефлексій для характеристики структури двочасткової мережі, як розуміти виробничу структуру країни і складність продукту.

Вступ. Питання успішного використання потенціалу країни залишається актуальним. Ключове питання – проаналізувати зв'язки між країнами та продуктами [1 – 6]. Двочастковий (bipartite) граф або двочасткова мережа – це множина вузлів і ланок, де вузли можна розділити на дві частини чи групи так, що лише ланки зв'язують вузли різних частин. Хоча багато мереж можна ділити на дві різні частини (наприклад, кожне дерево є двостороннім графом), зосередимося на даному визначенні двосторонньої мережі.

Приклад природних двочасткових мереж – мережі публікацій, де вузли – це автори і статті, а ланки зв'язують статті з їхніми авторами. Інший приклад – мережа, де вузли – актори і фільми, а ланки зв'язують акторів і фільми, в яких ці актори грають. За винятком кількох досліджень, двочасткові мережі здебільшого вивчалися через проектування мережі на одну з її частин, як правило, вважаючи вузли зв'язаними, якщо вони мають спільного сусіда в іншій частині [4, 5, 7]. Наприклад, мережі співавторів пов'язують учених, які є співавторами однієї статті, а мережі акторів і фільмів пов'язують акторів, які разом зіграли в одному фільмі. Хоча згадане проектування може давати цінну інформацію, важлива інформація втрачається при зведенні двочасткової мережі до будь-якої з її частин. Метод рефлексій характеризує структуру двочасткової мережі, ітеративно розглядаючи властивості сусідніх вузлів. Набір даних міжнародної торгівлі [8] дає значення імпорту й експорту за країнами походження та призначення, де продукти класифікуються за стандартом 1.

1. Стандартна класифікація міжнародної торгівлі (Standard International Trade Classification, SITC), версія 4 на 4-цифровому рівні [8] (дані розміщені на сайтах www.nber.org/data, http://cid.econ.udavis.edu/data/undata/undata.html, www.chidalgo.com/productspace/data.html).

У роботі [8] експорт обчислюється, використовуючи спостереження країни-імпортера (коли вони є) і припускаючи, що дані імпортерів точніші, ніж дані експортерів: ймовірно, імпорт контролюється жорсткіше порівняно з експортом, бо передбачає стандарти безпеки та збір імпортних мит. Крім того, уточнюються дані для вхідних і вихідних потоків США, Гонконгу, Китаю. Для побудови мір складності економік з набору даних [8] використовуються лише дані експорту країн походження. Отримані на наборі даних 1 результати підтверджуються на наборах даних 2 і 3.

2. Гармонізована система на основі бази даних COMTRADE Організації Об'єднаних Націй на 4-цифровому рівні (1241 продукт, 103 країни).

3. Північноамериканська система класифікація промисловості (North American Industry Classification System, NAICS) на 6-цифровому рівні (318 продуктів, 150 країн).

Математично мережу задає матриця M_{cp} суміжності (adjacency),

де

$$M_{cp} = \begin{cases} 1, \text{ країна } c \text{ суттєвим експортером продукту } p; \\ 0, \text{ в інших випадках.} \end{cases}$$

Країна c вважається суттєвим експортером продукту p, якщо виявлена порівняльна перевага (Revealed Comparative Advantage, RCA) цієї країни (відношення RCA_{cp} частки продукту p в експортному кошику країни c до частки продукту p у всій світовій торгівлі) більша деякої порогової величини. Тут порогова величина – число 1.

Метод рефлексій складається з ітеративного обчислення середнього значення властивостей сусідів вузла на попередньому рівні і визначається як сімейство спостережуваних змінних, які охоплюють структуру мережі M_{cp}:

$$k_{cN} = \frac{1}{k_{c0}} \sum_p M_{cp} k_{pN-1}, \qquad k_{pN} = \frac{1}{k_{p0}} \sum_c M_{cp} k_{cN-1}, \tag{1}$$

де $N \geq 1$. Тут початкові умови задаються ступенем (числом ланок) для країн і продуктів:

$$k_{c0} = \sum_p M_{cp}, \qquad k_{p0} = \sum_c M_{cp},$$

де k_{c0} та k_{p0} визначають спостережуваний рівень диверсифікації країни (число продуктів, які експортує країна c) та повсюдність (ubiquity) продукту (число країн, які експортують продукт p) відповідно. Тоді кожна країна c характеризується вектором

$$\vec{k}_c = \begin{pmatrix} k_{c0} & k_{c1} & \cdots & k_{cN} \end{pmatrix},$$

а кожний продукт p – вектором

$$\vec{k}_p = \begin{pmatrix} k_{p0} & k_{p1} & \cdots & k_{pN} \end{pmatrix}.$$

Для країн парні змінні k_{c0}, k_{c2}, k_{c4},… – це узагальнені міри диверсифікації, а непарні змінні k_{c1}, k_{c3}, k_{c5},… – узагальнені міри повсюдності їхнього експорту; для продуктів парні змінні k_{p0}, k_{p2}, k_{p4},… пов'язані з їхньою повсюдністю та повсюдністю інших близьких продуктів, а непарні змінні k_{p1}, k_{p3}, k_{p5},… пов'язані з диверсифікацією країн, що експортують ці продукти. У мережних термінах значення k_{c1} та k_{p1} відомі як середня повсюдність експорту країни c та середня диверсифікація експортерів продукту p (середній ступінь найближчого сусіда [9, 10]).

Проте змінні вищого порядку (при $N > 1$) можна інтерпретувати як лінійну комбінацію властивостей усіх вузлів мережі з коефіцієнтами, які задаються ймовірністю того, що випадковий блукач стартує у даному вузлі й завершує шлях в іншому вузлі після N кроків.

Розглянемо двочасткову мережу M, що описується матрицею M_{cp} суміжності, де

$$M_{cp} = \begin{cases} 1, \text{ вузол } c \text{ зв'язаний з вузлом } p; \\ 0, \text{ в інших випадках.} \end{cases}$$

Рекурсивна природа методу рефлексій дозволяє характеризувати структуру двочасткової мережі, визначаючи N змінних, кожна з яких відповідає поділу мережі. Наприклад, при характеризації мережі країн і продуктів до 3-го рівня аналізу (після характеризації k_{c0}, k_{p0}, k_{c1}, k_{p1}) k_{c2} є середнім k_{p1} експорту країни c, а k_{p2} є середнім k_{c1} експортерів продукту p, що характеризує країни та продукти у 3-вимірному фазовому просторі k_{c0}, k_{c1}, k_{c2} та k_{p0}, k_{p1}, k_{p2} відповідно.

Загалом методом рефлексій можна охарактеризувати країни і продукти через N змінних. Цей метод можна узагальнювати, вибираючи різні значення для k_{c0}, k_{p0} та здійснюючі подальші ітерації. Фактично міру PRODY [11] складності продукту можна вважати окремим випадком методу рефлексій, де k_{c0} – це валовий внутрішній продукт (ВВП) країни c за паритетом купівельної спроможності, а елементи M_{cp} матриці M – це значення RCA_{cp}. Тоді PRODY= k_{c1}. Міра PRODY поєднує інформацію про доходи зі структурою двочасткової мережі.

Спробуємо визначити структуру виробництва економіки, де стандартні сили порівняльної переваги відіграють певну, але не виключну роль. Процес пошуку базової структури витрат економіки, яка за своєю природою невизначена, показує роль стохастики у тому, що країна вироблятиме, а відтак наскільки вона буде багатою.

Проста модель [11] загальної рівноваги включає два сектори – сучасний сектор, що може виробляти розмаїття товарів, і традиційний сектор, що виробляє єдиний однорідний товар. Єдиним фактором виробництва є праця (яка неявно враховує також людський капітал).

Одиниці товарів нормалізуються так, щоб усі товари мали екзогенно задану світову ціну. У сучасному секторі кожний товар ідентифікується певним рівнем θ продуктивності – числом одиниць випуску, генерованим інвестицією даного обсягу. Впорядкуємо ці товари так, що кращі товари мають вищу продуктивність. Діапазон товарів, який здатний виробляти сучасний сектор економіки, задається неперервним інтервалом $[0,h]$, тобто $\theta \in [0,h]$. Роль порівняльної переваги відбивається припущенням про те, що h – це індекс рівня вмінь і людського капіталу економіки: країна з більшим значенням h може виробляти товари вищої продуктивності (складності).

Величина θ, пов'язана з проектом або товаром, стає відомою інвестору після повного втілення його інвестиції. Тоді ця величина стає загальновідомою, а інші інвестори можуть виробляти даний товар без додаткових витрат, пов'язаних з невизначеністю θ, але з дещо нижчою продуктивністю порівняно з наявним інвестором у цей товар. Якщо інший інвестор наслідує наявного інвестора, то дістає продуктивність $\alpha\theta$, $\alpha \in (0,1)$. Кожний інвестор може вести лише один проект, то після визначення продуктивності свого власного проекту має вибір – або продовжувати той самий проект, або наслідувати проект іншого інвестора. Інвестор, який зіштовхується з цим вибором, порівнюватиме свою продуктивність θ_i з продуктивністю θ^{max} знайденого найпродуктивнішого товару, бо наслідування іншого проекту даватиме менший прибуток.

Модель показує, що продуктивність сучасного сектора визначається продуктивністю θ^{max} і числом m інвесторів у сучасному секторі, яке, в свою чергу, залежить від розміру країни, людського капіталу та інших параметрів. Емпірично θ^{max} замінюється мірою EXPY, обчисленою на даних експорту. Ця міра намагається охоплювати рівень продуктивності, пов'язаний з експортом країни. Увага до експорту пояснюється тим, що θ^{max} стосується найпродуктивніших товарів країни, а країна експортуватиме саме такі товари. Розглянемо модель світової економіки, де країни відрізняються лише своїм розташуванням у просторі товарі на інтервалі $[0,h]$, куди входить відрізок $[\alpha\theta^{max}, \theta^{max}]$. У цій моделі впорядковуватиметься порівняльна й абсолютна перевага, а країни, які експортують товари з продуктивністю вище θ^{max}, будуть багатшими завдяки такому експорту. Увага до експорту має також сенс з практичних причин, бо є набагато докладніші дані про експорт поміж країн, ніж про виробництво.

Для обчислення міри EXPY впорядкуємо товари відповідно до рівнів доходів країн, які експортують ці товари. Товари, які експортуються багатими країнами (враховуючи загальний економічний обсяг), ранжуються вище, ніж товари, які експортуються біднішими країнами. Такий облік товарів дозволяє будувати індекси країни загалом.

Насамперед, побудуємо індекс – зважене середнє ВВП на душу населення країн j, які експортують даний продукт k, а відтак представляють рівень доходу (продуктивності), пов'язаний з цим продуктом:

$$PRODY_k = \sum_j \frac{\left(x_{jk} / X_j\right)}{\sum_j \left(x_{jk} / X_j\right)} Y_j,$$

де загальний експорт країни j задається

$$X_j = \sum_k x_{jk},$$

Y_j – ВВП на душу населення країни j (за паритетом купівельної спроможності), чисельник x_{jk} / X_j ваг – частка товару k у загальній вартості експортного кошика країни j, знаменник $\sum_j x_{jk} / X_j$ ваг – (агрегована) сума таких часток вартості поміж усіх країн-експортерів товару k. Таким чином, $PRODY_k$ дає зважене середнє ВВП на душу населення, де ваги відповідають RCA_{jk}.

Причина використання RCA_{jk} як ваг – гарантувати, що обсяги країн не викривлюють наше ранжування продуктів. Розглянемо приклад країн Бангладеш і США, які експортують одяг, який відповідає 6-цифровій категорії 620333 продуктів (чоловічі жакети і сорочки, синтетичного волокна, не в'язані). У 1995 р. вартість експорту США для цієї категорії дорівнювала 28.8 млн. дол., а Бангладеш – 19.4 млн. дол. Проте цей товар мав частку лише 0.0005 % у загальному експорті США, але 0.6 % у загальному експорті Бангладеш. Індекс $PRODY_k$ дозволяє надавати більшу вагу Бангладеш порівняно зі США при обчисленні рівня продуктивності, пов'язаної з одягом, незважаючи на більший абсолютний експорт США для цієї категорії.

Рівень продуктивності, пов'язаний з експортним кошиком країни i, визначається

$$EXPY_i = \sum_k PRODY_i \frac{x_{ik}}{X_i},$$

що є зваженим середнім $PRODY_i$ цієї країни, де ваги – частки продуктів у вартості загального експорту країни.

Раніше був розроблений подібний індекс, що називається доходний рівень експорту [12]. Ця робота використовує інші ваги для побудови індексу, подібного до $PRODY_i$: вага кожної країни відповідає частці ринку у глобальному експорті даного товару. Тому підхід у цій роботі завищує ваги великих країн, застосовуючи 3-цифрові категорії SITC. Було розроблено іншу подібну міру, що називають рівнем складності експорту [13]. Змінні PRODY та EXPY [11] характеризують складність експорту країн і продуктів, виходячи з даних торгівлі і доходів.

Ці змінні дозволяють вивчати доходи країн з перспективи їхніх спроможностей виробляти продукти. У змінних PRODY та EXPY поєднується інформація про доходи й мережі.

З кожною ітерацією методу рефлексій стає все важче інтерпретувати генеровані ним змінні. Для інтерпретації змінних вищих рефлексій випишемо аналітично розв'язки k_{cN} та k_{pN} вищезазначених рекурсивних залежностей як функції початкових умов k_{c0} та k_{pN}:

$$k_{cN} = \sum_b C_{cbN}(k_{c0}, k_{p0}) k_{b0},$$
$$k_{pN} = \sum_\beta C_{p\beta N}(k_{c0}, k_{p0}) k_{\beta 0}. \qquad (2)$$

Для прикладу обчислимо елементи $\vec{k}_{c2}$:

$$k_{c2} = \frac{1}{k_{c0}} \sum_p M_{cp} k_{p1} = \frac{1}{k_{c0}} \sum_{\{c\}_p} k_{p1},$$

де $\{c\}_p$ – множина сусідів країни c серед продуктів, $k_{p1} = \frac{1}{k_{p0}} \sum_{\{p\}_c} k_{c0}$. Звідси

$$k_{c2} = \frac{1}{k_{c0}} \sum_{\{c\}_p} \frac{1}{k_{p0}} \sum_{\{p\}_b} k_{b0} = \frac{1}{k_{c0}} \sum_{\{\{c\}\}_b} \sum_{\{c \cap b\}_p} \frac{1}{k_{p0}} k_{b0}, \qquad (3)$$

де $\{\{c\}\}_b$ – множина наступних сусідів країни c, $\{c \cap b\}_p$ – множина сусідів країн c та b. Тоді рівняння (2) задовольняється при $N = 2$, $\beta = b$,

$$C_{cb2}(k_{c0}, k_{p0}) = \frac{1}{k_{c0}} \sum_{\{c \cap b\}_p} \frac{1}{k_{p0}}.$$

В рівнянні (3) значення k_{c2} – лінійна комбінація елементів k_{b0} з коефіцієнтами, що дорівнюють оберненому добутку ступенів усіх вузлів, які лежать на шляху з'єднання вузлів c та b, включаючи вузол c, але не включаючи вузол b. Тому коефіцієнти $C_{cb2}(k_{c0}, k_{p0})$ можна інтерпретувати як імовірності того, що випадковий блукач стартує у вузлі c та фінішує у вузлі b за 2 кроки.

Отже, метод рефлексій – це спосіб вираження властивостей вузла мережі через комбінацію властивостей усіх його сусідів, де коефіцієнт лінійної комбінації – імовірність того, що два вузли зв'язуються випадковим блукачем після N кроків. Коефіцієнти розкладу (2) можна також інтерпретувати як міру подібності між вузлами мережі. Метод рефлексій можна вважати розкладом властивостей вузла у вигляді функції властивостей інших вузлів мережі з вагами, які дорівнюють оберненим добуткам ступенів кожного зі з'єднаних вузлів.

Хоча рефлексії вищого порядку дозволяють добувати все більше доречної інформації про виробничу структуру країни, пов'язаної з її економічним зростанням і доходом, при $N \to \infty$ всі змінні швидко збігатимуться до подібної величини. Водночас малі відхилення серед цих величин дають багато інформації.

Пояснимо метод рефлексій на прикладі простої мережі, яку складають 4 країни та 4 продукти. Нехай країна C_1 експортує 4 продукти P_1, P_2, P_3, P_4 ($M_{11}=M_{12}=M_{13}=M_{14}=1$), країна C_3 – 2 продукти P_3, P_4 ($M_{33}=M_{34}=1$, $M_{31}=M_{32}=0$), країна C_2 – 1 продукт P_2 ($M_{21}=M_{23}=M_{24}=0$, $M_{22}=1$), а країна C_4 – 1 продукт P_4 ($M_{41}=M_{42}=M_{43}=0$, $M_{44}=1$). Тоді диверсифікація k_{c10} країни C_1 дорівнює 4, $k_{c20}=1$, $k_{c30}=2$, $k_{c40}=1$; повсюдність k_{p10} продукту 1 становить 1, $k_{p20}=2$, $k_{p30}=2$, $k_{p40}=3$.

Обчислимо вищі рефлексії відповідно до ітерацій методу (1). Рефлексія 1 дає середню диверсифікацію експортерів C_1, C_2, C_3, C_4 продуктів P_1, P_2, P_3, P_4 при $N=1$:

$$k_{c11}=\frac{1}{k_{c10}}\sum_p M_{1p}k_{pp1-1}=\frac{1}{k_{c10}}\sum_{p=1}^{4}M_{1p}k_{pp0}=$$

$$=\frac{1}{k_{c10}}(1\times k_{p10}+1\times k_{p20}+1\times k_{p30}+1\times k_{p40})=\frac{1}{4}(1+2+2+3)=2,$$

$$k_{c21}=\frac{1}{k_{c20}}\sum_p M_{2p}k_{pp1-1}=\frac{1}{k_{c20}}\sum_{p=1}^{4}M_{2p}k_{pp0}=$$

$$=\frac{1}{k_{c20}}(0\times k_{p10}+1\times k_{p20}+0\times k_{p30}+0\times k_{p40})=\frac{1}{1}(1\times 2)=2,$$

$$k_{c31}=\frac{1}{k_{c30}}\sum_p M_{3p}k_{pp1-1}=\frac{1}{k_{c30}}\sum_{p=1}^{4}M_{3p}k_{pp0}=$$

$$=\frac{1}{k_{c30}}(0\times k_{p10}+0\times k_{p20}+1\times k_{p30}+1\times k_{p40})=\frac{1}{2}(1\times 2+1\times 3)=2.5,$$

$$k_{c41}=\frac{1}{k_{c40}}\sum_p M_{4p}k_{pp1-1}=\frac{1}{k_{c40}}\sum_{p=1}^{4}M_{4p}k_{pp0}=$$

$$=\frac{1}{k_{c40}}(0\times k_{p10}+0\times k_{p20}+0\times k_{p30}+1\times k_{p40})=\frac{1}{1}(1\times 3)=3.$$

Рефлексія 1 дає середню повсюдність продуктів P_1, P_2, P_3, P_4, які експортуються країнами C_1, C_2, C_3, C_4, при $N=1$:

$$k_{p11}=\frac{1}{k_{p10}}\sum_c M_{c1}k_{cc1-1}=\frac{1}{k_{p10}}\sum_{c=1}^{4}M_{c1}k_{cc0}=$$

$$=\frac{1}{k_{p10}}(1\times k_{c10}+0\times k_{c20}+0\times k_{c30}+0\times k_{c40})=\frac{1}{1}(1\times 4)=4,$$

$$k_{p21}=\frac{1}{k_{p20}}\sum_c M_{c2}k_{cc1-1}=\frac{1}{k_{p20}}\sum_{c=1}^{4}M_{c2}k_{cc0}=$$

$$= \frac{1}{k_{p20}}(1\times k_{c10} + 1\times k_{c20} + 0\times k_{c30} + 0\times k_{c40}) = \frac{1}{2}(1\times 4 + 1\times 1) = 2.5,$$

$$k_{p31} = \frac{1}{k_{p30}}\sum_{c} M_{c3}k_{cc1-1} = \frac{1}{k_{p30}}\sum_{c=1}^{4} M_{c3}k_{cc0} =$$

$$= \frac{1}{k_{p30}}(1\times k_{c10} + 0\times k_{c20} + 1\times k_{c30} + 0\times k_{c40}) = \frac{1}{2}(1\times 4 + 1\times 2) = 3,$$

$$k_{p41} = \frac{1}{k_{p40}}\sum_{c} M_{c4}k_{cc1-1} = \frac{1}{k_{p40}}\sum_{c=1}^{4} M_{c4}k_{cc0} =$$

$$= \frac{1}{k_{p40}}(1\times k_{c10} + 0\times k_{c20} + 1\times k_{c30} + 1\times k_{c40}) = \frac{1}{3}(1\times 4 + 1\times 2 + 1\times 1) = 2.33.$$

Рефлексія 2 задається середнім значень рефлексії 1 для сусідніх вузлів:

$$k_{c12} = \frac{1}{k_{c10}}\sum_{p} M_{1p}k_{pp2-1} = \frac{1}{k_{c10}}\sum_{p=1}^{4} M_{1p}k_{pp1} =$$

$$= \frac{1}{k_{c10}}(1\times k_{p11} + 1\times k_{p21} + 1\times k_{p31} + 1\times k_{p41}) = \frac{1}{4}(4 + 2.5 + 3 + 2.33) = 2.96,$$

$$k_{c22} = \frac{1}{k_{c20}}\sum_{p} M_{2p}k_{pp2-1} = \frac{1}{k_{c20}}\sum_{p=1}^{4} M_{2p}k_{pp1} =$$

$$= \frac{1}{k_{c20}}(0\times k_{p11} + 1\times k_{p21} + 0\times k_{p31} + 0\times k_{p41}) = \frac{1}{1}(1\times 2.5) = 2.5,$$

$$k_{c32} = \frac{1}{k_{c30}}\sum_{p} M_{3p}k_{pp2-1} = \frac{1}{k_{c30}}\sum_{p=1}^{4} M_{3p}k_{pp1} =$$

$$= \frac{1}{k_{c30}}(0\times k_{p11} + 0\times k_{p21} + 1\times k_{p31} + 1\times k_{p41}) = \frac{1}{2}(1\times 3 + 1\times 2.33) = 2.67,$$

$$k_{c42} = \frac{1}{k_{c40}}\sum_{p} M_{4p}k_{pp2-1} = \frac{1}{k_{c40}}\sum_{p=1}^{4} M_{4p}k_{pp1} =$$

$$= \frac{1}{k_{c40}}(0\times k_{p11} + 0\times k_{p21} + 0\times k_{p31} + 1\times k_{p41}) = \frac{1}{1}(1\times 2.33) = 2.33;$$

$$k_{p12} = \frac{1}{k_{p10}}\sum_{c} M_{c1}k_{cc2-1} = \frac{1}{k_{p10}}\sum_{c=1}^{4} M_{c1}k_{cc1} =$$

$$= \frac{1}{k_{p10}}(1\times k_{c11} + 0\times k_{c21} + 0\times k_{c31} + 0\times k_{c41}) = \frac{1}{1}(1\times 2) = 2,$$

$$k_{p22} = \frac{1}{k_{p20}} \sum_{c} M_{c2} k_{cc2-1} = \frac{1}{k_{p20}} \sum_{c=1}^{4} M_{c2} k_{cc1} =$$

$$= \frac{1}{k_{p20}} (1 \times k_{c11} + 1 \times k_{c21} + 0 \times k_{c31} + 0 \times k_{c41}) = \frac{1}{2} (1 \times 2 + 1 \times 2) = 2,$$

$$k_{p32} = \frac{1}{k_{p30}} \sum_{c} M_{c3} k_{cc2-1} = \frac{1}{k_{p30}} \sum_{c=1}^{4} M_{c3} k_{cc1} =$$

$$= \frac{1}{k_{p30}} (1 \times k_{c11} + 0 \times k_{c21} + 1 \times k_{c31} + 0 \times k_{c41}) = \frac{1}{2} (1 \times 2 + 1 \times 2.5) = 2.25,$$

$$k_{p42} = \frac{1}{k_{p40}} \sum_{c} M_{c4} k_{cc2-1} = \frac{1}{k_{p40}} \sum_{c=1}^{4} M_{c4} k_{cc1} =$$

$$= \frac{1}{k_{p40}} (1 \times k_{c11} + 0 \times k_{c21} + 1 \times k_{c31} + 1 \times k_{c41}) = \frac{1}{3} (1 \times 2 + 1 \times 2.5 + 1 \times 3) = 2.5.$$

Наведеним прикладом можна скористатися для того, щоб показати здатність методу рефлексій розрізняти окремі країни, виходячи лише з інформації про те, яка країна експортує який продукт. У цьому прикладі найдиверсифікованішою країною є C_1, що експортує всі 4 продукти, позаяк країни C_2 та C_4 експортують лише по одному продукту. Проте країни C_2 та C_4 відрізняються тим, що експортний продукт країни C_4 також експортується країнами C_1 і C_3, а експортний продукт країни C_2 експортується тільки країною C_1: експортний продукт країни C_2 є менш повсюдним порівняно з експортним продуктом країни C_4.

На подальших ітераціях методу рефлексій можна знайти важливу інформацію, закодовану відносним положенням країн і продуктів. Наприклад, рефлексія 2 дає $k_{c12} > k_{c32} > k_{c22} > k_{c42}$, надаючи перевагу C_2 порівняно з C_4. Рефлексія 2 ставить країну C_2 вище країни C_4, бо явно враховує те, що країна C_2 виробляє менш повсюдний продукт P_2 порівняно з продуктом P_4, який виробляє країна C_4. Те, що менш повсюдний продукт експортують лише такі диверсифіковані країни, як країна C_1, може сигналізувати про вищі спроможності країни C_2 відносно країни C_4: мабуть, країна C_2 виробляє лише один продукт не внаслідок своїх спроможностей, а внаслідок свого розміру. Водночас країна C_4 виробляє продукт P_4, який є повсюдним і виробляється як диверсифікованою, так і недиверсифікованою країною, що вказує на відносну простоту цього продукту і здатність виробляти цей продукт країнами з порівняно простими виробничими структурами. Отже, хоча країни C_2 та C_4 експортують по одному продукту, метод рефлексій може диференціювати ці країни, вказуючи на складнішу виробничу структуру країни C_2 відносно країни C_4.

В.М. Горбачук

ИТЕРАТИВНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА СЕТИ СТРАН И ПРОДУКТОВ

Показано, как можно использовать итеративный метод рефлексий для характеристики структуры двудольной сети, как понимать производственную структуру страны и сложнсть продукта.

V.M. Gorbachuk

ITERATIVE METHOD TO ANALIZE A NETWORK OF COUNTRIES AND PRODUCTS

It is shown how to use the iterative method of reflections to characterize a structure of bipartite network, to understand a productive structure of a country and a complexity of product.

1. *Горбачук В.М., Гаркуша Н.І.* Що виробляти: всі промислові товари розділів 1, 2, 3 за переліком стандарту CPC Ver. 1.1 UNIDO // Проблемы формирования новой экономики XXI века. Т. 6. – Дніпропетровськ: Біла О.К., 2010. – С. 18 – 26.
2. *Горбачук В.М., Ткачев И.И.* Стратегическая роль экономической информатики в успешном развитии Евразии // Вестник Таджикского национального университета. – 2012. – 2/9. – С. 68 – 80.
3. *Горбачук В.М.* Базові властивості рівноважних моделей міжнародної торгівлі // Компьютерная математика. – 2015. – Вып. 1. – С. 25 – 34.
4. *Горбачук В.М.* До вимірювання складності продуктів і успішності економіки // Сучасні проблеми управління підприємством: теорія та практика. – Харків: ХНЕУ імені С. Кузнеця, 2016. – С. 315 – 317.
5. *Горбачук В.М., Чумаков Б.М.* Динамика сложности продукции Украины и соседних государств // Modelare matematica, optimizare si tehnologii informationale. Vol. II. – Chisinau: Evrica, 2016. – P. 81 – 90.
6. *Стецюк П.И., Бортис Г., Эмменеггер Ж.-Ф.и др.* Институциональные и технологические изменения в странах с рыночной и переходной экономикой. – К.: Видавничий дім «Києво-Могилянська академія», 2015. – 336 с.
7. *Повещенко Г.П.* Потужність і стійкість системних зв'язків // Аналіз, моделювання, управління. – 2015. – Вип. 2. – С. 144 – 172.
8. *Feenstra R.C., Lipsey R.E., Deng H., Ma A.C., Ma H.* World trade flows: 1962–2000 // NBER Working Paper. – 2005. – 11040. – www.nber.org/papers/w11040.
9. *Pastor-Satorras R., Vazquez A., Vespignani A.* Dynamical and correlation properties of the internet // Physics review letters. – 2001. – 87:258701.
10. *Maslov S., Sneppen K.* Specificity and stability in topology of protein networks // Science. – 2002. – 296. – P. 910 – 913.
11. *Hausmann R., Hwang J., Rodrik D.* What your export matters // Journal of economic growth. – 2007. – 12 (1). – P. 1 – 25.
12. *Michaely M.* Trade, income levels, and dependence. – Amsterdam: North-Holland, 1984.
13. *Lall S., Weiss J., Zhang J.* The «sophistication» of exports: a new measure of product characteristics // Oxford University. Queen Elisabeth House Working Paper Series 123. – January 2005.

Одержано 30.03.2016

Про автора:

Горбачук Василь Михайлович,
доктор фізико-математичних наук
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України.
E-mail GorbachukVasyl@netscape.net