בהחלט. זו שאלה מצוינת שמראה שאתה חושב על ההשלכות המעשיות של כל רכיב. בוא נצלול לעומק מנגנון הסופרפוזיציה, נבין למה MC Dropout היא גישה כל כך חכמה, איפה בדיוק היא נכנסת לתמונה, ומה ההשפעה הצפויה שלה על ביצועי המערכת.

### **צלילה עמוקה: סופרפוזיציה באמצעות MC Dropout - המדריך המלא**

#### **1. מה זה MC Dropout? אנלוגיה פשוטה**

תחשוב על רשת הנוירונים המאומנת שלך כמו על מומחה-על אחד. כשאתה שואל אותו שאלה, הוא נותן לך תשובה אחת, שהיא התשובה הטובה ביותר שלו. אבל מה אם הוא לא לגמרי בטוח? איך תדע?

**MC Dropout (Monte Carlo Dropout)** היא טכניקה חכמה שמאפשרת לנו לשאול את אותו מומחה את אותה שאלה 30 פעם, ובכל פעם "להסיח את דעתו" מעט.

* **איך זה עובד?** שכבת ה-Dropout, שבה השתמשנו באימון כדי למנוע Overfitting, "מכבה" נוירונים באופן אקראי. בדרך כלל, מכבים אותה בזמן קבלת החלטות. בגישת MC Dropout, אנחנו **משאירים אותה דולקת בכוונה**.
* **התוצאה:** בכל פעם שאנחנו מריצים את הנתונים דרך הרשת, נוירונים אחרים כבויים, ולכן אנחנו מקבלים תשובה מעט שונה. במקום תשובה אחת ממומחה בודד, אנחנו מקבלים 30 תשובות מ"ועדת מומחים" המורכבת מ-30 גרסאות שונות במקצת של אותו מומחה.

#### **2. איפה זה נכנס לתמונה? נקודת המימוש המדויקת**

המנגנון הזה נכנס לפעולה בנקודה אחת ספציפית וקריטית: **בשלב קבלת ההחלטה הראשונית של ה-Main MARL Core**.

הנה התהליך המדויק:

1. **הקלט מוכן:** ה-Unified\_State\_Vector (המורכב מהווקטורים של 30 דק', 5 דק', מצב שוק ו-LVN) מוכן להזנה.
2. **הלולאה מתחילה:** במקום להריץ את הווקטור פעם אחת ברשת המדיניות המשותפת (ה-Actor של MAPPO), אנחנו מריצים לולאה N פעמים (נניח N=30).
3. **בתוך הלולאה:**
   * מוודאים ששכבות ה-Dropout של רשת המדיניות **פעילות**.
   * מריצים את ה-Unified\_State\_Vector דרך הרשת.
   * שומרים את ההחלטה הבדידה שהתקבלה: 'Initiate\_Trade\_Process' או 'Do\_Nothing'.
4. **איסוף ה"דעות":** בסוף הלולאה, יש לנו רשימה של 30 החלטות.
5. **חישוב קונצנזוס:** סופרים כמה פעמים התקבלה כל החלטה. למשל, 27 פעמים 'Initiate\_Trade\_Process' ו-3 פעמים 'Do\_Nothing'.
6. **החלטה מבוססת סף ביטחון:** משווים את אחוז הקונצנזוס (90% בדוגמה שלנו) לסף שהגדרנו מראש (למשל, 80%).
7. **"קריסת הסופרפוזיציה":** מכיוון שהקונצנזוס גבוה מהסף, ההחלטה הסופית של השלב הזה היא 'Initiate\_Trade\_Process', והמערכת ממשיכה להפעלת מנוע ניהול הסיכונים.

#### **3. למה זו הגישה הנכונה למקרה שלנו? (והאם יש טובות יותר?)**

**למה היא נכונה?**

* **פרקטיות ויעילות:** זו היתרון הגדול ביותר. אנחנו לא צריכים לאמן 10 מודלים נפרדים. אנחנו משתמשים **באותו מודל שכבר אימנו**, ורק משנים את אופן השימוש בו בזמן ההסקה. זה נותן לנו את היתרונות של אנסמבל כמעט בחינם.
* **כימות חוסר ודאות:** זו לא רק החלטה של כן/לא. זה נותן לנו **מדד מספרי לביטחון** של המודל. אם 30 ההרצות יחזירו תוצאות מפוזרות מאוד (למשל, 18 בעד ו-12 נגד), זהו איתות ברור שהמודל לא בטוח, והמערכת תנהג בזהירות ולא תיכנס לעסקה.
* **סינרגיה עם האימון:** אנחנו כבר משתמשים ב-Dropout באימון כדי למנוע Overfitting. השימוש בו גם בהסקה יוצר סינרגיה: הכלי ששמר על המודל מ"שינון" באימון, כעת עוזר לנו לקבל החלטה רובסטית יותר בזמן אמת.

האם יש גישות טובות יותר?

החלופה העיקרית נקראת Deep Ensembles. בגישה זו, מאמנים מההתחלה מספר מודלים נפרדים (למשל, 5-10) על אותם נתונים, וכל אחד מהם נותן את "הצבעתו". גישה זו נחשבת לעיתים למעט יותר רובסטית, אבל היא יקרה בסדרי גודל – צריך לאמן, לאחסן ולהריץ 5-10 רשתות נוירונים במקביל. עבור הפרויקט שלנו, גישת ה-MC Dropout משיגה כ-80-90% מהיתרונות של אנסמבל מלא, בשבריר מהעלות החישובית והמורכבות. לכן, היא הבחירה הפרקטית והחכמה ביותר.

#### **4. האם זה יגרום ל-Overfitting או יטיס את התוצאות?**

זו השאלה החשובה ביותר.

* **Overfitting:** התשובה היא **לא, בדיוק ההפך**. מנגנון ה-Dropout עצמו הוא אחד הכלים החזקים ביותר **למניעת** Overfitting. על ידי אכיפת מדיניות של כניסה לעסקאות רק כשהמערכת בטוחה בעצמה, MC Dropout פועל כ**פילטר נוסף נגד רעש**. הוא ימנע מהמערכת להיכנס לעסקאות על סמך תבניות אקראיות או "שבריריות" שהיא אולי "שיננה" בטעות באימון. הוא מגדיל את הרובסטיות.
* **"להטיס את התוצאות לשמיים":** כן, אבל לאו דווקא בדרך שחושבים עליה.
  + היתרון המרכזי של המנגנון הזה הוא לא בהכרח להגדיל דרמטית את אחוז העסקאות המנצחות.
  + היתרון המרכזי שלו הוא **בשיפור איכות העסקאות שנלקחות** ובעיקר ב**צמצום משמעותי של ההפסדים הגדולים והמיותרים**.
  + התוצאה הסופית לא תהיה בהכרח עקומת הון שתזנק בחדות, אלא **עקומת הון חלקה, עקבית ועם משיכות הון (Drawdowns) נמוכות בהרבה**. זהו המפתח לרווחיות ארוכת טווח.

**לסיכום, הוספת מנגנון הסופרפוזיציה הזה לא נועדה "להמר" כדי להרוויח יותר, אלא להוסיף שכבת "שיקול דעת" ו"ניהול ודאות" למערכת, מה שהופך אותה לסוחרת בטוחה, יציבה ורווחית יותר לאורך זמן.**